



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Maria de Fátima Campos Gomes Faria

AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DO ALIMENTO
COMPLETO EM EXPLORAÇÕES LEITEIRAS

Nome do Curso de Mestrado
Mestrado em Zootecnia

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Joaquim Orlando Lima Cerqueira

Abril de 2019

*As doutrinas expressas neste
trabalho são da exclusiva
responsabilidade da autora.*

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1 – INTRODUÇÃO.....	9
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Alimentação e nutrição da vaca leiteira	10
2.2 Homogeneidade do TMR.....	12
2.3 Granulometria do TMR	14
2.4 Fibra fisicamente efetiva.....	15
Separador de partículas de Penn State	19
2.5 Apreciação química do alimento completo	21
2.6 Digestibilidade da fibra.....	22
2.7 Abeberamento e qualidade da água	24
3 – TRABALHO EXPERIMENTAL.....	26
3.1 Origem das amostras.....	26
3.2 Caracterização das explorações em estudo.....	26
3.3 Metodologia utilizada	28
3.3.1 Análise da composição química e do tamanho de partícula.....	29
3.3.2 Avaliação do processo digestivo	30
3.4 Tratamento Estatístico	31
4 – RESULTADOS	32
4.1 Análise de variância.....	33

4.1.1	Efeito da exploração	33
4.1.2	Regime alimentar formulado e executado	37
4.1.3	Tamanho de partícula	38
4.1.3	Composição química	39
4.1.4	Processo digestivo	40
4.2	Componentes principais.....	41
5	– DISCUSSÃO	46
6	– CONCLUSÃO.....	50
7	– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação não ficaria completa sem o agradecimento a todos os que de uma forma direta e indireta, contribuíram para a sua concretização. A todos vós, sem exceção, que encontrem nestas palavras a expressão do meu mais sincero reconhecimento.

O meu primeiro agradecimento dirige-se ao meu marido e amigo Pedro Sá, por ser o grande impulsionador na minha carreira profissional. Sem ti, não teria chegado tão longe!

Agradeço profundamente ao meu orientador de dissertação, Prof. Doutor Joaquim Orlando Lima Cerqueira, pelo seu apoio incondicional, compreensão, partilha e muita paciência, bem como por todas as críticas e conselhos.

Um agradecimento muito especial à minha entidade patronal, a Cooperativa Agrícola de Barcelos na pessoa do seu presidente o Engenheiro José Júlio Costa, por proporcionarem a hipótese da concretização deste mestrado em Zootecnia, bem como, todos os meios necessários e financiamento do estudo prático.

De referir que o trabalho aqui apresentado só foi possível conjugando as visões complementares sobre um mesmo tema. Neste sentido, realço toda a equipa técnica do serviço de alimentação e nutrição da Cooperativa Agrícola de Barcelos, com especial carinho, à Engenheira Eugenia Morgado, pela sua orientação e total disponibilidade desde o primeiro dia, assim como todos os esclarecimentos técnicos. À Engenheira Ana Torres pelo seu companheirismo e transmissão de conhecimentos que muito me ajudou sobre o papel nutricional nas explorações leiteiras.

Aos meus pais e irmãos, o meu profundo agradecimento pelo constante apoio e carinho, pelos incentivos demonstrados ao longo da minha vida pessoal e académica e, sobretudo pelo esforço a que sempre se dispuseram, para que eu pudesse alcançar os meus sonhos. Sem vocês não seria a pessoa que hoje sou.

Aos produtores clientes das explorações em estudo, agradeço gentilmente a disponibilidade e afeição sempre demonstrados na cedência de todos os dados para a realização deste trabalho.

Com carinho a todos, Obrigada.

RESUMO

O tema nutrição de precisão ganhou importância nos últimos anos essencialmente devido ao aumento do custo alimentar, associado ao constante melhoramento genético nas vacas leiteiras, levando a um aumento contínuo na produtividade dos animais, assim como as suas exigências nutricionais, desta forma, apenas dietas corretamente formuladas, permitem suportar e alcançar produções de leite mais elevadas. O objetivo deste trabalho consistiu na avaliação das variações existentes na dieta TMR (alimento completo – “Total Mixed Ration”) executada face à dieta proposta pelo técnico nutricionista e seu processo digestivo em 4 explorações de bovinos leiteiros.

Para um total de 24 amostras por exploração, ao longo de 4 semanas, em dias não consecutivos, a preparação do TMR foi acompanhada e monitorizada para posterior análise física e química. Procedeu-se à recolha amostras fecais (em fresco) referentes a 10% do efetivo para posterior análise da MS (matéria seca). De forma a complementar as características individuais de cada exploração, recolheu-se ainda um conjunto de dados referentes à produção de leite e sua qualidade, dimensionamento de manjedouras e bebedouros, ordem dos ingredientes e tempo de preparação do TMR, quantidades carregadas face aos animais presentes, análise ao tamanho de partícula...

A exploração com maior produção diária de leite (31,4kg), apresentou a maior produção aos 305 dias (10749,7 kg) e o menor número de dias em leite (151 dias). Observou-se efeito da exploração ($P < 0,05$) para a produção diária de leite, produção aos 305 dias, teor butíroso, teor proteico e ureia. Relativamente às quantidades carregadas no reboque misturador, face ao arração proposto, apenas uma exploração apresentou variações mínimas (inferior a 1 kg/alimento/vaca/dia). A silagem de milho e erva foram os ingredientes com maiores oscilações na composição da dieta, seguindo-se o concentrado e a palha. Na monitorização do tamanho de partícula no TMR, através dos crivos de Penn State, verificou-se que apenas uma exploração se enquadrou nos intervalos considerados adequados, tendo em conta os valores de referência.

A maioria das correlações entre as variáveis da análise química esperada e executada foram baixas, denotando falta de rigor na preparação da dieta. Os dois componentes principais em conjunto revelam 67,5% da variabilidade dos parâmetros da composição química no TMR.

Palavras chave: *Produção de leite, formulação, TMR, granulometria, monitorização*

ABSTRACT

The theme of precision nutrition achieved, in the last few years, an importance essentially owing to the fact that the number of food costs rose. This is directly connected to the constant genetic improvement of dairy cows, leading to a continuous increase in animal productivity, as well as their nutritional exigencies, thus only correctly formulated diets allow supporting and accomplishing higher productions of milk. The intent of this research consisted in the assessment of the TMR's diet variations (complete food – “Total Mixed Ration”) carried out whilst concerning the proposed diet from the technical nutritionist and his digestive procedure in 4 explored dairy bovine cattle.

The TMR preparation was monitored and examined for further physical and chemical analysis, for a total of 24 samples of exploration, throughout the duration of 4 weeks in non-consecutive days. It was performed a collection of faecal samples (in fresh state), in allusion to the 10% of the effectively present, so as to proceed with an analysis of the DM (dry matter). In order to add to the individual characteristics of each exploration, were collected a series of data referring to the previous production of milk and its inherent quality, as well as sizing of troughs and drinking fountains, order of the ingredients and arrangement time of the TMR, quantities currently available matching the number of animals present at the time, particle size analysis...

The exploration with the largest daily milk production (31,4kg), granted its largest production after 305 days (10749,7kg) and the smaller number of days with milk (151 days). As effect of the exploration, it was possible to observe ($P < 0,05$) for the daily production of milk, the production up to the 305 days, butyric content, protaic content and urea. Regarding the quantities loaded on the mixer trailer, comparatively speaking to the proposed feeding, only one exploration has given minimal variations (inferior to 1 kg/food/cow/day). Corn and grass silage were the main ingredients with diet composition variations, followed by the concentrates and cereal straw. Furthermore, in monitoring the particle size on the TMR, through Penn State sieves, it was evident that only one exploration has framed in the appropriate intervals, taking into account the reference values.

The majority of correlations between the expected and executed variables of chemical analysis were low, denoting strictless diet preparation. The two main components together reveal 67,5% of the variability of chemical composition parameters in the TMR.

Key-words: production of milk, formulation, TMR, granulometry, monitoring.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADF – Fibra ácido-detergente

ALIP – Associação para o laboratório interprofissional do sector do leite e lacticínios

ASAE – Sociedade americana de engenheiros agrícolas

CV – Coeficiente de variação

DIVNDF – Digestibilidade *in vitro* da NDF

DP – Desvio padrão

GB – Gordura bruta

MS – Matéria seca

NDF – Fibra neutro-detergente

NIRS – Espectroscopia de infravermelho próximo, “near infrared reflectance spectroscopy”

NRC – National Research Council

PB – Proteína bruta

PDIE – Proteína digestível no intestino limitada pela energia

PDIN – Proteína digestível no intestino limitada pelo azoto

peNDF – Fibra neutro-detergente fisicamente efetiva

SARA – Acidose ruminal subaguda

SAU – Superfície agrícola útil

SPPS – Separador de partículas do estado da Pensilvânia

TLC – Tamanho de corte teórico

TMR – Alimento completo ou único, “total mixed ration”

UFL – Unidades forrageiras leite (sistema Francês)

VEM – Unidade de “alimento” leite (sistema Holandês)

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Efeito do tamanho de partículas de forragens na atividade mastigatória de vacas (adaptado de Mertens, 1997)	17
Quadro 2.2 – Recomendações de tamanho de partícula para dieta TMR em vacas leiteiras (adaptado de Heinrichs, 2013).....	20
Quadro 2.3 – Valores de NDF recomendados, expressos em percentagem da MS (adaptado de Heinrichs e Kononoff, 2004)	21
Quadro 2.4 – Recomendações em água (litros/vaca/dia) para uma vaca de 635 kg de peso vivo (adaptado de Wolter e Ponter, 2014).....	24
Quadro 3.1 – Principais características das explorações alvo de estudo.....	27
Quadro 3.2 – Regime alimentar formulado e respetivas características nutricionais para as explorações em estudo.....	28
Quadro 4.1 – Indicadores gerais de estatística descritiva das explorações alvo de estudo	32
Quadro 4.2 – Efeito da exploração na produção de leite (PL) e dias em leite (DEL)	34
Quadro 4.3 – Efeito da exploração na qualidade do leite para o teor butiroso, teor proteico e ureia	36
Quadro 4.4 – Quantidade (kg/vaca/dia) de ingredientes que compõe o regime alimentar formulado face ao executado	38
Quadro 4.5 – Distribuição observada das partículas do TMR (%).....	39
Quadro 4.6 – Composição química da mistura TMR esperada face à observada no momento da distribuição	40
Quadro 4.7 – Percentagem de matéria seca proveniente de amostras fecais para cada uma das telas (superior, média e inferior)	41
Quadro 4.8 – Correlações encontradas para análise química esperada (AQE) e observada (AQ) na mistura TMR, produção de leite e % de MS encontrada em análise das fezes (AD).....	42
Quadro 4.9 – Principais componentes dos diferentes parâmetros em análise	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Produção de leite aos 305 dias (adaptado de ANABLE, 2018)	10
Figura 2.2 – Relação entre o pH ruminal e o teor de gordura do leite (adaptado de Allen, 1997)	19
Figura 2.3 – Separador de partículas de Penn State (última versão)	19
Figura 3.1 – Padrão de agitação para a separação das partículas pelo seu tamanho (adaptado de Heinrichs, 2013)	30
Figura 3.2 – Analisador de digestão Nasco para fezes em fresco	30
Figura 4.1 – Tempo de preparação do alimento único e respetivo tempo de mistura para homogeneização final do TMR	33
Figura 4.2 – Evolução do teor butíroso no decorrer do período em estudo	35
Figura 4.3 – Evolução do teor proteico no decorrer do período em estudo	35
Figura 4.4 – Variações encontradas entre os quilos de alimento formulado face aos quilos executados	37
Figura 4.5 – Projeção das variáveis originais sobre os eixos definidos pelos dois componentes principais	45

1 – INTRODUÇÃO

Os avanços científicos em alimentação e nutrição animal nas últimas décadas, facilitaram o desenvolvimento de modelos matemáticos avançados para a formulação de alimentos compostos que preveem com precisão o desempenho produtivo de vacas leiteiras com base na composição dos nutrientes dos diferentes ingredientes que compõe a dieta. Estas ferramentas permitem que consultores e técnicos de nutrição, formulem alimentos a custo mínimo, enquanto maximizam a eficiência da conversão de alimentos em leite. No entanto, a composição nutricional do alimento completo frequentemente difere do alimento formulado como resultado de erros associados essencialmente à pesagem dos ingredientes em reboques misturadores, incertezas no conteúdo de MS e composição em nutrientes dos ingredientes (Buckmaster e Muller, 1994; Pierre e Weiss, 2015). Tem sido relatado que a variabilidade diária na composição de nutrientes não foi tão grande quanto a variabilidade observada entre a dieta fornecida e a formulada (Sova *et al.*, 2014).

A observabilidade da composição de nutrientes do TMR pode ter implicações em relação à produção de leite. Devido às incertezas associadas ao processo de alimentação, os consultores e técnicos de nutrição, acrescentam (muitas vezes) uma margem de “segurança” ao formular dietas que excedem os requisitos em nutrientes críticos, como a proteína bruta (PB). A desvantagem desta prática é essencialmente um maior custo da alimentação, bem como um aumento na excreção de nutrientes, especialmente aqueles com impacto ambiental, como o azoto (Rossow e Aly, 2013; Sova *et al.*, 2014).

Para facilitar a abordagem do agricultor ou do técnico na otimização de um programa alimentar, é necessário analisar o comportamento do animal em relação à manjedoura e as reações complexas do organismo que transforma, oxida e elimina substâncias que circulam no seu aparelho digestivo, tornando assim imprescindível compreender o funcionamento da mecânica nutricional. Além dos números e da precisão do arração calculado, é tão importante a forma como se dá, tanto quanto o que se dá (Wolter e Ponter, 2014).

A presente dissertação teve como objetivo a avaliação da uniformidade do alimento completo (TMR) e seu processo digestivo, conhecendo a dieta formulada e a preparada, durante um período de 4 semanas em 4 explorações leiteiras, localizadas no concelho de Barcelos.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Alimentação e nutrição da vaca leiteira

A alimentação e nutrição adquiriu extrema importância nos últimos anos dentro das explorações leiteiras essencialmente devido aos seguintes fatores. O crescente aumento do custo alimentar tem feito com que as margens de lucro fiquem cada vez mais estreitas, e assim os excessos ou carências no uso dos nutrientes deixam de ser possíveis, sendo muitas vezes determinantes para a viabilidade da exploração na atividade leiteira. O constante melhoramento genético levou ao aumento da produção aos 305 dias (Figura 2.1), bem como as exigências nutricionais, fazendo com que apenas dietas corretamente equilibradas possam dar suporte a produções de leite tão elevadas. A atual preocupação com o meio ambiente e com a sustentabilidade também tem sido cada vez maior, tornando a excreção do excesso de nutrientes e consequentemente a poluição dos solos e águas cada vez mais inaceitável e dispendiosa monetariamente (Almeida *et al.*, 2013).

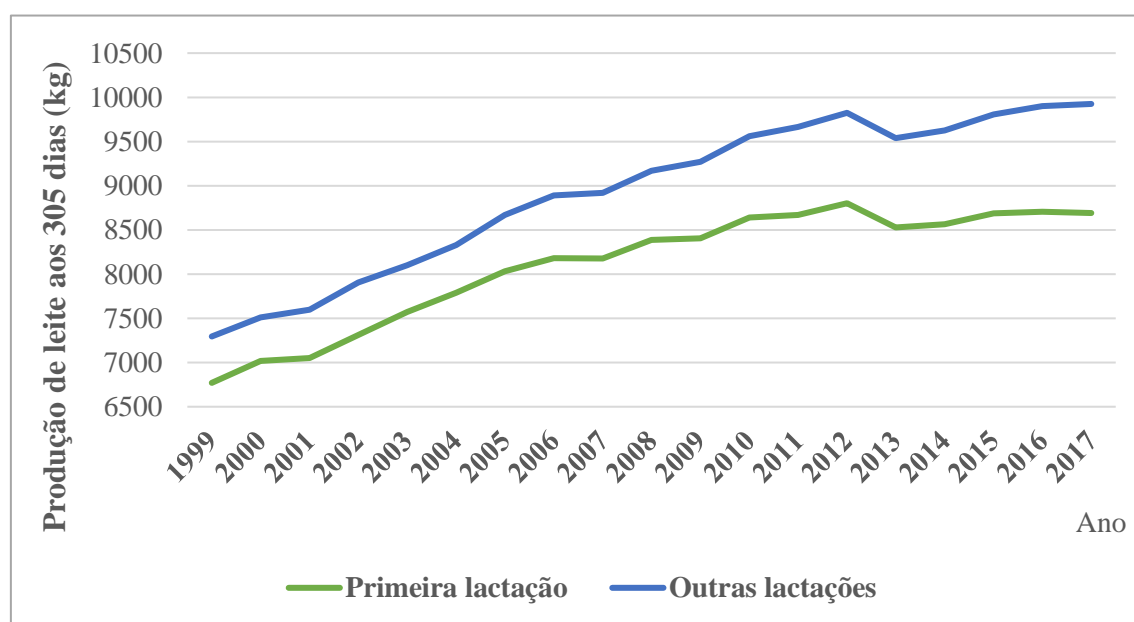


Figura 2.1 – Produção de leite aos 305 dias (adaptado de ANABLE, 2018)

Tendo em conta que os animais se tornaram mais eficientes, mas o consumo de MS não aumentou na mesma proporção que a produção de leite, foi necessário concentrar o valor energético e proteico nas dietas propostas. Com estas exigências, a nutrição de vacas leiteiras de alta produção passou a enfrentar novos desafios, em simultâneo, o aumento da produção, a manutenção da saúde ruminal assim como a longevidade dos animais (Stone, 2008).

Não existe uma definição clássica ou única para a nutrição de precisão, porém entendemos que o seu conceito preza para que as exigências nutricionais dos animais sejam asseguradas, sem deficiências ou excessos, maximizando o aproveitamento dos alimentos existentes e consequentemente o aumento da eficiência na utilização dos mesmos, além de reduzir a sua excreção para o meio ambiente (Sova *et al.*, 2014).

Segundo Rossow e Aly (2013), em uma exploração leiteira admite-se que existam três dietas:

- i. A dieta formulada pelo nutricionista, baseada na composição química dos ingredientes disponíveis, obtida através da análise laboratorial, bem como os dados referentes ao efetivo (qualidade do leite, dias de lactação, ...) e objetivos de produção, calculando assim as necessidades em MS, normalmente obtida com auxílio de programas de formulação alimentar para animais;
- ii. A dieta que a pessoa responsável pela alimentação dos animais executa (ordem de carregamento dos diferentes ingredientes, tempo de mistura, quantidades carregadas, tipo de reboque misturador ...);
- iii. A dieta que realmente é ingerida pelo animal, determinada por todo o comportamento de ingestão, principalmente a seleção de partículas com diferentes tamanhos.

Rodriguez *et al.* (2015), avaliaram a precisão de carregamento dos ingredientes nos reboques misturadores em 24 explorações da Califórnia, Estados Unidos, observando um erro médio de carregamento de 10% a mais ou a menos, face ao peso esperado na balança, sendo que os ingredientes que possuíram pior assertividade foram os concentrados e misturas de minerais. Estas variações são facilmente explicadas pelo fato de possuírem menor inclusão na dieta, e consequentemente pequenos desvios da meta de carregamento impactam significativamente na precisão. Carregamentos exagerados de concentrados, provocam aumento na sua proporção na dieta final, assim como o aumento dos custos adicionais sem reais incrementos na produção de leite, podendo comprometer a estabilidade ruminal devido a um maior fornecimento de carboidratos de rápida fermentação sem previa adaptação da população ruminal.

Segundo Weiss *et al.* (2012), um fator que exerce grande influência na imprecisão entre a dieta formulada e a preparada, é a variação da qualidade dos ingredientes ao longo do tempo, principalmente as forragens.

2.2 Homogeneidade do TMR

Uma das práticas realçadas por Almeida *et al.* (2013) para que as 3 dietas em uma exploração sejam o mais possível similares entre si, passa pela monitorização da qualidade e quantidade do alimento completo. O objetivo da homogeneização de todos os ingredientes e por sua vez, o fornecimento aos animais sob a forma de alimento completo, passa pela entrada dos nutrientes no rúmen de uma forma contínua e equilibrada, mantendo-se constante ao longo do dia, melhorando o equilíbrio existente entre energia e proteína e consequentemente um melhor aproveitamento do alimento. A qualidade da mistura também apresenta influencia na dieta ingerida pelos animais, pois, no caso desta não se encontrar devidamente misturada, os animais ao longo da manjedoura poderão não ter acesso às mesmas concentrações em nutrientes, ou ainda, a seleção do alimento poderá ser facilitada (Zabeli *et al.* 2012).

Oelberg (2011) propõe uma metodologia para se avaliar a consistência do alimento único, utilizando o separador de partículas de Penn State (SPPS). Segundo o autor, vários fatores podem interferir na homogeneidade final do TMR, sendo o tempo de mistura aquele com efeito mais significativo, onde dietas satisfatoriamente homogêneas são obtidas após 3 a 5 minutos de mistura, após a colocação do último ingrediente carregado na máquina misturadora.

Heinrichs *et al.* (1999) ao avaliar o efeito do tempo de mistura na redução do tamanho de partícula no TMR, reforça o cuidado com tempos excessivos de mistura, podendo reduzir demasiado o tamanho das partículas, conduzindo a um aumento de distúrbios metabólicos.

As investigações de campo conduzidas pela Universidade em Penn State, encontraram uma variabilidade considerável na generalidade das dietas. O manejo alimentar desempenha um papel importante no tamanho de partícula que a vaca necessita, sendo ideal, para o crivo superior que o material retido não seja superior a 8%. As recomendações para as dietas das vacas leiteiras de alta produção são 2 a 8% das partículas no crivo superior, 30 a 50% no crivo intermédio, 10 a 20% no crivo inferior e 30 a 40% na base do separador. 60 a 70% do TMR deve ser classificado como fibra

fisicamente efetiva. Obviamente, muitos grãos inteiros ou partidos grosseiramente, partículas provenientes dos alimentos concentrados e alimentos concentrados, serão retidos no crivo de 4mm. Estes devem ser descontados quando se calcula a fibra efetiva e devem ser tomados em consideração quando equilibrarmos as dietas das vacas em lactação. Apenas a forragem e as matérias primas com elevado teor de fibra devem ser classificadas como fontes de fibra efetiva (Heinrichs, 2013).

Sobre a ordem de carregamento dos ingredientes, recomenda-se que primeiramente sejam carregados os fenos e/ou palhas, seguindo-se o alimento composto ou mistura de matérias-primas e minerais, e só por último a silagem de erva e/ou milho (Almeida *et al.*, 2013; Oelber, 2011). Inserindo primeiramente os fenos/palhas na mistura TMR (desvalorizando o tipo de reboque misturador (horizontal ou vertical), a qualidade das facas, etc), que geralmente apresentam maior tamanho de partícula, favorecendo eficientemente a preparação da mistura TMR e sua homogeneização, melhorando assim a sua consistência (Zebeli *et al.*, 2012; Almeida *et al.*, 2013 e Oelberg, 2011).

Segundo Heinrichs *et al.*, (2009), o tamanho da forragem que vem do campo é maioritariamente longa quanto ao seu comprimento, acabando por comprometer a homogeneidade da mistura, facilitando assim a sua seleção pelos animais.

Segundo Mikus (2012), os fenos e forragens pré-fenadas armazenados em “big-bales” (fardos redondos) geralmente causam dietas mais inconsistentes, devido essencialmente ao seu modo de recolha e armazenamento, onde a fibra se apresenta mais longa, dificultando a sua homogeneização no TMR, causando maior desgaste das facas e do próprio reboque misturador.

A sobrecarga do reboque misturador também se apresenta como um fator que pode comprometer a qualidade da mistura final, sendo que o recomendado é o preenchimento de 60-80% da carga máxima do equipamento, mesmo para que, ótimas misturas sejam obtidas (Barmor, 2002).

Segundo Cozzi (2004), peneirando as amostras de TMR referentes aos vários pontos de alimento, recolhidos ao longo da manjedoura, torna-se possível a avaliação da homogeneidade, sendo estas consideradas homogêneas quando as diferenças entre estas amostras são inferiores a 10%.

Oelberg (2011) ao avaliar a variação da concentração de MS, PB, cinza e amido ao longo da manjedoura em TMR misturadas e distribuídas por reboques misturadores

sobrecarregados, observou coeficientes de variação maiores ou iguais a 6% em todos os componentes.

Cook (2007) estudou os efeitos comportamentais do efeito do espaço de manjedoura, com menos de 60 e 102 cm por vaca. Com espaço de 102 cm, havia uma redução no número de interações agressivas por vaca, aumentando a percentagem de vacas à manjedoura, durante os 90 minutos seguidos ao fornecimento do TMR. Um ambiente menos agressivo na manjedoura pode também ter benefícios na saúde e bem-estar. As vacas envolvidas em maior número de interações agressivas na manjedoura podem apresentar mais riscos de desenvolvimento de problemas podais.

2.3 Granulometria do TMR

A preocupação com o tamanho da partícula deve começar com a operação de corte da forragem no campo. A distribuição do tamanho da partícula na alimentação das vacas leiteiras é importante, tornando-se assim necessário entender de que forma o manusear da cultura, desde a colheita até à sua ensilagem afeta o mesmo (Heinrichs *et al.*, 1999). De forma a tentar avaliar o tamanho da partícula final na altura do corte, foi abordada a hipótese de existir um tamanho de corte teórico (TLC). No entanto, as linhas orientadoras para o TLC na colheita são pouco definidas, e o tamanho de corte resultante pode variar devido a fatores relacionados com as regulações das máquinas, sendo estes o teor de humidade da cultura, a espessura da forragem, ou seja, a produtividade da cultura assim como outros fatores mecânicos (Savoi *et al.*, 1989 citado por Heinrichs *et al.*, 1999), que podem fazer com que as regulações prévias que são feitas na maquinaria, não resultem exatamente no tamanho de corte pretendido.

Pitt (1987) porém verificou que a relação entre o tamanho da partícula depois da colheita e o TLC varia com o tamanho médio inicial da forragem. Para forragens de pequeno porte, o tamanho médio do corte final excede em muito o TLC; o comprimento médio de corte final é quase igual ao TLC quando o corte corresponde a 0,7 vezes a média do tamanho inicial da forragem. A variabilidade no tamanho da partícula da forragem depois de cortada aumenta ligeiramente com a variabilidade no tamanho inicial da forragem e diminui com o aumento de fragmentos de folhas do material da planta inicial (Heinrichs *et al.*, 1999). As diferenças de design da maquinaria de colheita em forragens, a manutenção, operação e as características das pastagens forrageiras tornam impraticável a recomendação de um tamanho de corte teórico padrão (Kononoff e Heinrichs, 2007),

sendo um ponto favorável, pois permite reduzir o tamanho da partícula até valores desejáveis, o que não acontecia se a forragem já estivesse cortada em tamanhos muito pequenos.

Outro fator que está diretamente relacionado com o tamanho da partícula dos alimentos é o tipo de corte praticado, por sua vez dependente do tipo de silo utilizado. Comparativamente aos silos horizontais, os silos verticais geralmente requerem forragens mais finas/pequenas para facilitar o transporte pneumático e para permitir uma melhor compactação do material, expulsando o ar contido (Heinrichs *et al.*, 1999). Os silos horizontais passaram a permitir o uso de forragens cortadas de forma mais longa e com maior teor de humidade do que as forragens usadas convencionalmente nos silos verticais (Savoi *et al.*, 1989 citado por Heinrichs *et al.*, 1999).

Para determinar quantitativamente a distribuição do tamanho da partícula, estão descritos dois métodos. O primeiro e mais antigo é o método estabelecido pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas (ASAE). É um método de análise do tamanho de partícula através de um dispositivo laboratorial grande e imóvel, equipado com cinco peneiros com diferentes tamanhos de poro e um tabuleiro de fundo, para separar partículas em seis fracções, de acordo com a ASAE (1993) (Heinrichs *et al.*, 1999). Este método da ASAE é um procedimento laboratorial incómodo e impraticável em explorações (Heinrichs e Kononoff, 2004).

Para simular o método laboratorial complexo da ASAE através de um método mais simples, que pudesse ser levado a cabo nas explorações, pelos consultores e técnicos de nutrição, foi criado o SPPS, constituído por um conjunto de 3 crivos, com diâmetro de poro de 19 mm, 8 mm e 1 mm, e um tabuleiro de fundo sem orifícios (Heinrichs e Kononoff, 2004).

2.4 Fibra fisicamente efetiva

A fibra de neutro-detergente fisicamente efetiva (peNDF) refere-se aos constituintes e características estruturais da fibra em detergente neutro (tamanho de partícula), que atuam para manter os parâmetros de funcionalidade ruminal. O tamanho de partícula tem influência sobre a digestão ruminal e processos metabólicos (NRC, 2001; Tafaj *et al.*, 2007). Assim a peNDF é uma ferramenta importante para avaliar a adequação de fibra alimentar para vacas leiteiras.

A peNDF contribui para o estabelecimento de uma camada de partículas grosseiras, de baixa densidade, com fibra longa, localizadas na região intermédia do rúmen, determinando a natureza bifásica do conteúdo ruminal (Mertens, 2010).

As partículas do concentrado com grandes quantidades de substrato degradável são retidas no tapete ruminal (Tafaj *et al.*, 2004). Desta forma, o tapete ruminal não é apenas um lugar para fermentação da fibra, mas também um local onde ocorre a fermentação do alimento concentrado, conduzindo a mudanças na composição química e microbiana do tapete ruminal em vacas leiteiras.

Vacas leiteiras de alta produção apresentam elevadas exigências energéticas e proteicas, tornando-se necessário que produtores e técnico de nutrição, incluam proporções significativas de ingredientes concentrados em suas dietas para que tais exigências sejam satisfeitas, limitando a inclusão de forragem (Almeida *et al.*, 2013; Zebeli *et al.*, 2008). Mesmo em tais circunstâncias, quantidades mínimas de fibra devem ser ingeridas pelos animais para que o ambiente ruminal se mantenha estável, o teor de gordura do leite não seja reduzido, bem como a digestibilidade da fibra não ser prejudicada (Almeida *et al.*, 2013, Allen, 1997; Mertens, 1997).

As recomendações mínimas do conteúdo de fibra para vacas leiteiras sugeridas pelo NRC em 1989 para bovinos leiteiros (NRC, 1989) são de 25% de NDF na MS da dieta, sendo que 75% deste, ou seja, 19% da NDF total deve ser proveniente de algum tipo de forragem. Contudo, o NRC de 2001 para bovinos leiteiros (NRC, 2001) admite valores de NDF provenientes da forragem, inferiores a 19%, mas para cada redução de 1 ponto percentual na NDF da forragem, a dieta deve ser compensada com a inclusão de 2 pontos percentuais de FDN total, normalmente proveniente de subprodutos fibrosos.

Quando quantidades excessivas de fibra são incluídas na dieta, a densidade energética é reduzida, o consumo é limitado e a produtividade também pode ser afetada. Porém em situações que a quantidade de fibra incluída na dieta é muito restrita, uma variedade de problemas pode surgir, desde alterações na fermentação ruminal, com grandes produções de ácidos e consequentemente a queda do pH, aumento da incidência de problemas podais, queda do teor de gordura do leite, redução da digestibilidade da fibra e casos de acidose ruminal subaguda (SARA), podem ocorrer. Apesar da acidose láctica aguda ser grave e ter sérias consequências clínicas nos animais, os efeitos ruminiais causados pela

SARA causam maior impacto económico dentro de uma exploração leiteira, pois apresenta grande hipótese de comprometer toda a saúde do efetivo a médio e longo prazo (Mertens, 1997).

Quadro 2.1 – Efeito do tamanho de partículas de forragens na atividade mastigatória de vacas (adaptado de Mertens, 1997)

Alimento	NDF (%MS)	Atividade mastigatória	
		(min./kg MS)	min./kg NDF)
Feno de luzerna			
Longo	54	72	134
Picado (3,8cm)	54	59	109
Palha de aveia			
Longo	84 ²	163	194
Chão	75 ²	84	113
Silagem de milho			
1,9cm TLC ³	68	66	97
1,3cm TLC ³	62	60	96
0,6cm TLC ³	60	40	66

NDF² - Calculado a partir da concentração de fibra bruta;
TLC³ - Tamanho de corte teórico.

Mertens (1997) e Allen (1997) ressaltam a importância de não utilizar apenas características químicas dos alimentos para equilibrar as necessidades em fibra na dieta de vacas leiteiras, mas também características físicas, principalmente o tamanho da partícula. As características físicas do alimento, mais especificamente o tamanho da fibra, exercem influência na saúde ruminal, estimulando a mastigação (Quadro 2.1) e a ruminação (e por consequência a produção de saliva composta por tampões) e a retenção da fibra no rúmen, entendendo-se essas características por efetividade física da fibra.

Tipicamente, a vaca leiteira despende entre 8 e 10 horas do dia a ruminar. Quando as vacas estão a descansar (não estando a comer ou sendo ordenhadas), mais de 60% das vacas deverão estar a ruminar e cada porção de alimento deverá ser mastigado pelo menos 50 vezes antes de ser novamente engolido. Este valor é indicativo de adequado tamanho das partículas de alimento (Hutjens, 2008).

O conteúdo de peNDF de um alimento é o produto da multiplicação de sua concentração de NDF pelo seu fator de efetividade, que por definição varia de 0 quando a NDF do alimento não é eficaz em estimular a mastigação, a 1, quando o mesmo é totalmente eficaz

(Mertens *et al.*, 1997). O mesmo autor ao fazer uma meta análise de dados, demonstra claramente a relação entre o tamanho de partícula e a atividade mastigatória em vacas leiteiras, tanto em minutos por quilos de MS ingerida, como em minutos por quilos de NDF ingerida.

A saliva produzida pelas glândulas salivares auxilia a neutralização dos ácidos da digesta, porém em menor proporção. O poder tampão da saliva é explicado pelas concentrações de bicarbonato e fosfatos, contendo 0,1 a 0,2% de ureia, promovendo a renovação de azoto, necessário para o crescimento microbiano. O fluxo salivar também interfere na taxa de passagem de líquidos e partículas do rúmen para o omaso.

A produção total de saliva em vacas leiteiras é dependente do consumo de MS. A quantidade de saliva produzida, encontra-se diretamente relacionada com o tempo de mastigação, ruminação e fibra fisicamente efetiva. Alimentos contendo valores de peNDF menores que 21% da MS, conseqüentemente resultam em menor formação da parte sólida no rúmen, menor tempo de mastigação e ruminação, menor produção de saliva, maior produção de ácidos, menor tamponamento e pH ruminal mais ácido (Figura 2.2). Nestas circunstâncias, podem ocorrer quebras no teor em gordura do leite e causar distúrbios metabólicos como a acidose (ZEBELI *et al.*, 2012).

As partículas fibrosas quando estão na região cranial do rúmen, estimulam os recetores de tensão, desencadeando o processo de ruminação, em consequência do enchimento ruminal. A ruminação tem como objetivo reduzir o tamanho das partículas da digesta, facilitando a atividade microbiana no rúmen, aumento da superfície de contato bactéria-substrato, hidratação das partículas e passagem das partículas pelo orifício retículo omasal (Olschlager, 2007).

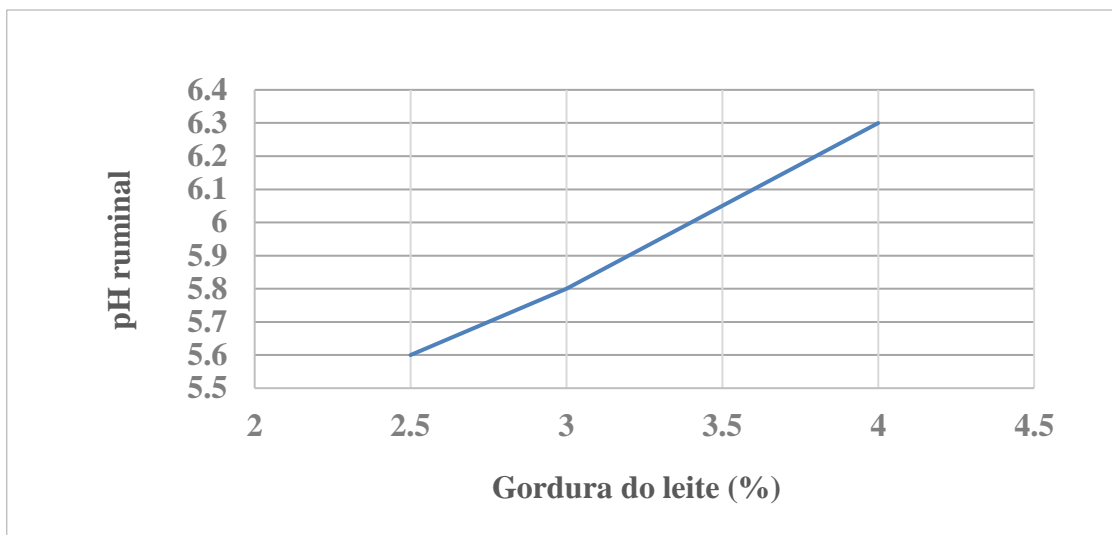


Figura 2.2 – Relação entre o pH ruminal e o teor de gordura do leite (adaptado de Allen, 1997)

Separador de partículas de Penn State

O SPPS é uma ferramenta desenhada para determinar quantitativamente o tamanho de partículas de forragens e dietas completas. Atualmente é o método mais utilizado por ser simples e apresentar um maior grau de exequibilidade na exploração.

A versão mais atualizada de 2013 do SPPS, permite estimar a fibra fisicamente efetiva, sendo este um conceito que utiliza um método padrão para medir o tamanho de partícula (Figura 2.3).



Figura 2.3 – Separador de partículas de Penn State (última versão)

A obtenção do tamanho de partícula da dieta correto requer a utilização de recomendações para forragens e para TMR (Quadro 2.2). As recomendações originais para o tamanho de partícula foram baseadas em dados de campo provenientes de inúmeras explorações.

Desde esse tempo, foram conduzidos estudos intensivos de investigação na universidade de Penn State para posteriormente reajustar as recomendações iniciais. Os resultados da determinação da distribuição dos valores do tamanho de partícula das forragens e das TMR podem ser utilizados na formulação de dietas e na resolução de problemas nutricionais (Heinrichs, 2013).

Quadro 2.2 – Recomendações de tamanho de partícula para dieta TMR em vacas leiteiras (adaptado de Heinrichs, 2013)

Crivos	Tamanho dos poros (mm)	Tamanho de partícula (mm)	Dieta TMR
Crivo superior	19	>19	2 a 8%
Crivo intermédio	8	8 a 19	30 a 50%
Crivo inferior	4	4 a 8	10 a 20%
Base	--	< 4	30 a 40%

Além da análise ao tamanho de partícula, tanto em forragem como em TMR, o separador de partículas também pode ser utilizado para monitorizar a possibilidade da seleção do alimento na manjedoura, pelas vacas, podendo ajudar na solução de problemas alimentares, metabólicos e/ou produtivos. A diferença entre o tamanho de partícula encontrado nos restos da manjedoura e o tamanho de partícula na hora em que é distribuído aos animais, não deve diferir mais de 3 a 5%. Se as vacas estiverem a seleccionar a dieta ao longo do dia, o pH ruminal pode flutuar mais do que o esperado, afetando a ingestão, a fermentação ruminal e a digestão geral. Os problemas podem ser mais pronunciados se as manjedouras estiverem sobrepovoadas ou se as novilhas de primeira lactação estiverem juntas com as vacas adultas. Nestas situações, os animais mais agressivos podem consumir preferencialmente os alimentos concentrados, ou os alimentos mais palatáveis, presentes na dieta, que são rapidamente fermentáveis, deixando os alimentos mais fibrosos e menos digestíveis para os outros animais.

A medição do tamanho de partícula da TMR também pode ajudar quando se pretende avaliar um reboque misturador e a forma como este é utilizado. A sobre-mistura leva a uma redução do tamanho de partícula, enquanto a sub-mistura pode levar a que a TMR seja muito diferente em vários pontos ao longo da manjedoura. Ao testar o tamanho de partícula da TMR em vários locais, ao longo da manjedoura, o SPPS pode ser muito útil na avaliação do reboque misturador, do operador e das rotinas alimentares (Lopes, 2011).

Encontra-se ainda referido que quando se avalia uma TMR, a proporção de material retido no crivo superior, é normalmente superior a 19,0 mm. Isto porque a ingestão de MS desta porção da dieta é conhecida como sendo positivamente correlacionada com a atividade de ruminação e foi demonstrado estar negativamente relacionada com a porção de tempo que o pH ruminal está abaixo de 5,8 (Kononoff e Heinrichs 2003a,b; Krause *et al.*, 2002 citado por Kononoff e Heinrichs, 2007), o que se mostra positivo quando se pretende evitar acidoses e acidoses subagudas, deslocamento do abomaso e diminuição do teor butírico do leite.

O teor de NDF de um alimento, caracteriza a quantidade de material da parede celular (celulose, hemicelulose e lenhina) e é inversamente proporcional à ingestão de MS. A maturidade da planta é diretamente proporcional ao conteúdo em NDF. Alimentos ricos em NDF têm um menor potencial de ingestão, apesar do processamento dos mesmos (ex: moagem) poder melhorar este potencial (Saun e Heinrichs, 2008).

O NRC (2001) recomenda um mínimo de 27% de NDF na dieta (Zebeli *et al.*, 2006). No entanto existem níveis de ingestão total de NDF como percentagem da MS recomendados, consoante o nível de produção dos animais (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 – Valores de NDF recomendados, expressos em percentagem da MS (adaptado de Heinrichs e Kononoff, 2004)

Nível de produção de leite	Ingestão total de NDF	Ingestão de NDF na forragem
Alta (mais de 36 kg)	28 a 32%	21 a 27%
Média (de 27 a 36 kg)	33 a 37%	25 a 32%
Baixa (menos de 27 kg)	38 a 42%	29 a 36%

2.5 Apreciação química do alimento completo

Como já foi referido, alterações ao nível da granulometria podem conduzir a problemas metabólicos e não só. A má distribuição do tamanho da partícula pode levar a que a composição química do alimento que os animais realmente consomem, seja diferente da formulada, quer pelo tipo de fibra distribuída (mais ou menos digerível) ou pelo inadequado tamanho de partícula, podendo levar a que os animais intensifiquem a seleção do alimento na manjedoura.

A formulação existe porque os produtores pretendem responder o mais possível às necessidades nutricionais dos diferentes estados do ciclo produtivo em que se encontra um animal.

Perante as alterações que podem ocorrer, é importante monitorizar a composição química do produto final, para que nos possamos certificar que o animal ingere um alimento com composição nutricional semelhante ou o mais próximo possível à formulada em teoria, de acordo com o ciclo produtivo e/ou reprodutivo em que o animal se encontra. Assim sendo, para além da análise granulométrica, devem também ser analisados parâmetros como a MS (que de resto nos permite estimar se o animal vai ingerir mais ou menos água, o que também é importante para a sua saúde), PB, fibra, GB, cinza, amido, NDF e ADF.

Através destas análises podemos aferir da verdadeira composição nutricional do alimento que o animal realmente ingere, e assim conseguir aproximá-la o mais possível daquilo que foi formulado de acordo com as necessidades nutricionais, em determinada fase do ciclo produtivo.

Existe uma forma bastante prática e funcional de verificar a composição química do alimento distribuído aos animais. A análise através do NIRS (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*) pode ser realizada de forma mais rápida do que os métodos tradicionais existentes para a análise dos componentes químicos do alimento, permitindo assim confirmar parâmetros tão importantes como aqueles que são medidos pela análise granulométrica. O teor de NDF é aquele parâmetro que deve ser avaliado com maior regularidade, pois uma dieta que forneça uma adequada distribuição do tamanho da partícula, mas cujo teor de NDF fique aquém dos níveis mínimos recomendados, pode levar ao aparecimento dos mesmos problemas metabólicos, já descritos para uma dieta com tamanho de partícula reduzido. A análise química à composição do alimento das TMR após o processo de mistura deve ser realizada como complemento à análise granulométrica (Lopes, 2011).

2.6 Digestibilidade da fibra

A determinação da digestibilidade da NDF é um parâmetro importante em nutrição animal. Em alguns trabalhos publicados tem sido demonstrado que a digestibilidade da NDF influencia o desempenho animal independente da concentração em fibra. Ensaio

com animais que receberam TMR com teores similares de NDF e forrageiras que diferiam na digestibilidade *in vitro* da NDF, foram relatados aumentos significativos em consumo de MS e na produção de leite (Oba e Allen, 2000). A saída de NDF do rúmen devido a aumento da taxa de digestão pode reduzir o preenchimento físico do rúmen ao longo do tempo, permitindo um maior consumo voluntário de matéria seca (Mertens, 1997).

Ao avaliarem dados publicados na literatura, Oba e Allen (1999) observaram que o aumento em uma unidade de digestibilidade *in vitro* da NDF, está associada ao aumento de 0,17Kg/dia no consumo de MS e aumento de 0,25 Kg/dia de leite corrigido para 4% de gordura.

Os dados de digestibilidade *in vitro* não permitem deduzir com certeza sobre o valor energético da forragem, porém este dado será útil para o manejo nutricional dos efetivos leiteiros. Com a digestibilidade *in vitro* da NDF é possível classificar as forragens em função da sua qualidade. Os efeitos positivos do aumento da digestibilidade *in vitro* da NDF (DIVNDF) são maiores em vacas mais produtivas, provavelmente por se tratarem de animais mais sensíveis à limitação de consumo por enchimento físico do rúmen, ao contrário das vacas de baixa produção. Assim forragens com maior DIVNDF devem ser direcionadas para vacas de alta produção procurando minimizar os efeitos de enchimento físico do rúmen (Oba e Allen, 2005).

Oba e Allen (2000) conduziram um trabalho para avaliar a importância da digestibilidade da NDF, ao fornecerem a vacas em lactação um TMR que incluía silagem de milho de maior DIVNDF (55,9%) e alta proporção de forragem (55,9% da MS), e observaram que a produção de leite não diferiu da observada, quando alimentadas com uma dieta constituída por silagem de milho com menor DIVNDF (46,5%) e por milho moído (grão) em 29,2 % da MS da dieta (33,7 contra 33,5 kg/dia).

A utilização de forragens com maior DIVNDF pode assim permitir a redução dos custos em alimentação, quando aumentamos a participação de forragem na dieta, principalmente quando o preço do concentrado é alto e a produção de leite é constante, criando oportunidades para otimizar a dieta, ajudando a minimizar os custos em momentos de crise, quando temos o preço dos cereais alto.

2.7 Abeberamento e qualidade da água

A necessidade e o consumo de água pela vaca leiteira depende do tamanho do animal, do nível de produção de leite, da temperatura ambiente e da ingestão de minerais e matéria seca. Desta forma, a água é o elemento necessário em maior quantidade e a sua qualidade é crítica para encorajar o seu consumo e assegurar um bom nível de saúde do efetivo. Deve, por isso, encontrar-se assegurada a existência de bebedouros em número suficiente e com água limpa e abundante, especialmente junto das salas de ordenha e após a ingestão de grandes quantidades de matéria seca. A água deve também encontrar-se isenta de qualquer contaminação bacteriana e os seus níveis de nitratos, sulfatos e sais devem ser regularmente monitorizados (Hutjens, 2008).

Quadro 2.4 – Recomendações em água (litros/vaca/dia) para uma vaca de 635 kg de peso vivo (adaptado de Wolter e Ponter, 2014)

Temperatura			
Produção de leite	4 a 5 °C	26 a 27 °C	<u>Resumindo:</u> 3 a 5 litros/kg MS ou 3 litros/kg de leite (além da manutenção)
Manutenção	27	41	
Gestação	37	58	
Lactação			
- 9L leite/dia	45	67	
- 18L leite/dia	65	94	
- 27L leite/dia	85	120	
- 36L leite/dia	100	147	
- 45L leite/dia	120	173	

O sub-abeberamento diminui o consumo alimentar e a produção leiteira. Por exemplo, uma redução no abeberamento de 40% reduz a ingestão em 24% e a produção leiteira em 16%. As necessidades em água aumentam com a temperatura exterior (Quadro 2.4), com o nível de produção leiteira, o nível de ingestão e o nível de desidratação dos alimentos (ex: as necessidades em água baixam com a ingestão de erva fresca), o teor de alimentos com baixa digestibilidade por aumento das perdas hídricas fecais, assim como o teor em proteínas e minerais (sódio e potássio), aumentando as perdas hídricas urinárias. As diarreias (devidas por exemplo, à ingestão de erva muito jovem, por excesso de azoto e

potássio, com perdas exageradas de sódio e cobre) e as nefrites aumentam ainda as necessidades em água (Wolter e Ponter, 2014).

Se a água é palatável, disponível e em quantidade suficiente, frequentemente ou mesmo em permanência, o animal autorregula-se corretamente. Deve-se permitir uma ingestão *ad libitum* regular, fracionada, sem superconsumo excessivo massivo, expondo a cólicas. São aconselhadas um mínimo de dois abeberamentos por dia, onde a água seja abundante, de boa qualidade e por um período suficiente sem que ocorra competição, ou melhor, com disponibilidade livre e permanente de bebedouros coletivos, suficientemente numerosos (1 para 10 a 15 vacas), bem distribuídos e de fácil acesso, ou; bebedouros individuais automáticos, em bom funcionamento, com débito suficiente (10 litros/minuto).

Segundo Wolter e Ponter (2014), as necessidades qualitativas, para um consumo máximo e sem riscos sanitários, a água deve ser:

- i. Própria: sem desperdícios alimentares, contaminações fecais ou urinárias (chorume), nem desenvolvimento de algas, ...;
- ii. Sã: sem parasitas nem excesso de germes fecais (*Streptococcus fecalis* <100/L, *Clostridium perfringens* <50 a 100/L; sem excesso de pesticidas nem de nitratos (<440 ppm: sem perigo; <1 320 ppm: riscos de metemoglobinemia), sem excesso de ferro (<1 ppm), nem de metais pesados (chumbo <0,1 ppm);
- iii. Apetecível: arejada (renovação suficiente), pouco mineralizada (<7 g/L de minerais totais), com um pH próximo do neutro, sem cheiro nem gosto desagradável, à temperatura média de aproximadamente 15°C.

Os bebedouros devem ser dimensionados para grupos de 25 vacas de forma a que 15 a 20% do efetivo consiga beber ao mesmo tempo (Souza, 2004). Segundo McFarland (2003) devem existir no mínimo dois pontos de abeberamento por grupo de animais, com o objetivo de reduzir ação das vacas dominantes, onde o espaço de acesso aos bebedouros deve ser de 10 a 12 cm por cabeça animal para explorações inferiores a 20 animais. Quando superior aos 20 animais estes devem ser de 11,5 cm.

3 – TRABALHO EXPERIMENTAL

3.1 Origem das amostras

A componente prática do presente trabalho consistiu no acompanhamento e monitorização de 4 explorações de bovinos leiteiros (predominância de animais da raça Holstein Frísia) no concelho de Barcelos, durante 4 semanas, 2 vezes por semana em dias não consecutivos, em agosto de 2018.

A seleção das explorações ocorreu dentro de um conjunto de 38 produtores/clientes, onde o serviço de acompanhamento técnico nutricional é assegurado pelo serviço de alimentação e nutrição da Cooperativa Agrícola de Barcelos.

A seleção das explorações teve em consideração os seguintes critérios:

- i. Explorações que utilizam exclusivamente dietas completas (preferencialmente, explorações com presença de balança no reboque misturador);
- ii. Explorações sem previsão próxima de alteração ao regime alimentar em prática, evitando assim a sua reformulação, durante o período em estudo;
- iii. Compatibilidade entre explorações (monitorização na preparação do alimento completo);
- iv. Existência de contraste leiteiro;
- v. Recetividade dos próprios produtores.

Para este trabalho, foram recolhidas 24 amostras por exploração, para um total de 96 amostras. Para cada dia em análise, foram recolhidas um conjunto de 3 amostras:

- i. Amostra do TMR para avaliação do tamanho de partícula através do SPPS;
- ii. Amostra do TMR para determinação da composição química da dieta fornecida;
- iii. Recolha e lavagem de fezes frescas, através do analisador da digestão Nasco, para análise da MS para cada uma das 3 telas (3 telas * 32 dias = 96 amostras fecais).

3.2 Caracterização das explorações em estudo

As explorações objeto de estudo localizam-se no concelho de Barcelos. Os animais em lactação encontram-se estabulados em lote único, em sistema livre com acesso a cubículos. O alimento completo encontra-se à descrição (*ad libitum*) ao longo do dia, sendo este distribuído durante o período da manhã, aquando a realização da ordenha. Apenas a exploração 2 executa a preparação do alimento completo duas vezes ao dia,

sendo o segundo período de preparação e descarga, realizado ao final da tarde (reboque misturador pequeno, não permitindo a correta homogeneização do alimento completo). A exploração 3 é a única que não apresenta balança no reboque misturador, sendo possível observar as variações existentes comparativamente às explorações com balança. No quadro 3.1 faz-se a descrição das principais características das explorações incluídas no estudo:

Quadro 3.1 – Principais características das explorações alvo de estudo

Principais características das explorações em estudo	
Exploração 1	<ul style="list-style-type: none"> - Superfície agrícola útil: 18 ha - Número de vacas em lactação: 50 vacas - Cama dos cubículos: colchão de borracha - Revestimento da manjedoura: tijoleira - Tipo de reboque misturador: horizontal - Reboque misturador com balança: sim - Colocação de palha à descrição: sim
Exploração 2	<ul style="list-style-type: none"> - Superfície agrícola útil: 20 ha - Número de vacas em lactação: 52 vacas - Cama dos cubículos: colchão de borracha e cimento - Revestimento da manjedoura: cimento - Tipo de reboque misturador: horizontal - Reboque misturador com balança: sim - Colocação de palha à descrição: não
Exploração 3	<ul style="list-style-type: none"> - Superfície agrícola útil: 5 ha - Número de vacas em lactação: 25 vacas - Cama dos cubículos: colchão de borracha e cimento - Revestimento da manjedoura: cimento - Tipo de reboque misturador: horizontal - Reboque misturador com balança: não - Colocação de palha à descrição: não
Exploração 4	<ul style="list-style-type: none"> - Superfície agrícola útil: 6 ha - Número de vacas em lactação: 27 vacas - Cama dos cubículos: colchão de borracha e cimento - Revestimento da manjedoura: cimento - Tipo de reboque misturador: horizontal - Reboque misturador com balança: sim - Colocação de palha à descrição: sim

Através da informação nutricional fornecida para forragens e matérias-primas, utilizadas em formulação por consultores ou técnicos em nutrição, é possível determinar a composição química esperada para um regime alimentar proposto. No quadro 3.2,

apresentam-se as diferentes dietas, formuladas para cada exploração em estudo, de acordo com os objetivos de produção.

Quadro 3.2 – Regime alimentar formulado e respectivas características nutricionais para as explorações em estudo

	Exploração			
	1	2	3	4
Objetivo de produção (kg/vaca/dia)	30	25	27	30
Ingredientes (kg/vaca)				
Silagem de milho	36,0	24,5	30,0	35,0
Silagem de erva	-	15,7	2,5	-
Palha	1,5	-	1,0	1,5
Alimento concentrado	9,0	7,5	8,0	8,5
Composição química esperada (% MS)				
MS	44,73	41,07	47,56	46,16
Cinzas	7,08	7,18	7,32	7,40
PB	15,64	15,36	15,51	15,52
GB	3,74	2,46	2,98	3,34
Amido	25,55	23,11	24,99	26,39
NDF	37,05	37,67	37,00	35,43
Necessidades nutricionais (quantidade/vaca/dia)				
VEM	20027,60	18234,98	18976,78	19663,86
UFL	20,32	18,14	18,73	19,87
PDIN (kg)	2,312	2,098	1,872	2,387
PDIE (kg)	2,20	1,91	1,86	2,21

3.3 Metodologia utilizada

Durante o período de recolha dos dados nas explorações, todo o processo de preparação do alimento completo foi monitorizado, procedendo-se assim à recolha dos seguintes dados:

- i. Tipo de reboque misturador;
- ii. Ordem de entrada dos ingredientes no reboque misturador;
- iii. Tempo de preparação para o TMR;
- iv. Registo dos pesos (kg) carregados para cada ingrediente;
- v. Número de animais em produção à manjedoura, face ao número de animais definidos na balança do unifeed;

3.3.1 Análise da composição química e do tamanho de partícula

De forma a obtermos amostras representativas da TMR oferecida, foram recolhidas sub-amostras em 6 a 8 pontos ao longo da manjedoura com cerca de 250 gramas cada, logo após a distribuição do alimento. Depois da uniformização das sub-amostras, estas foram divididas em duas, com a finalidade de proceder a:

- i. Análise química ao TMR: MS; cinzas; PB; GB; NDF e amido;
- ii. Análise ao tamanho de partícula: SPPS (versão atualizada de 2013).

Para a análise química, a amostra foi colocada no interior de um saco de plástico devidamente identificado, sendo posteriormente enviado para análise à Associação para o Laboratório Interprofissional do Sector do Leite e Lacticínios (ALIP), sediada em Lousada. Os resultados obtidos foram apresentados em percentagem (%) sobre a MS, com exceção da MS que apenas é expressa em %.

A amostra TMR para determinação do tamanho de partícula com aproximadamente 1 kg, foi pesada e colocada no topo do separador de partículas, onde as quatro caixas separadoras se encontravam empilhadas umas sobre as outras, de acordo com a seguinte ordem: crivo superior em cima, seguindo-se o crivo intermédio, crivo inferior e a base.

Em cima de uma superfície plana, os crivos foram agitados 5 vezes na mesma direção, fazendo a rotação de $\frac{1}{4}$ de volta, repetindo-se o processo por 7 vezes, de forma a obter um total de 8 conjuntos ou 40 agitações, rodando o separador após cada conjunto de 5 agitações (Figura 3.1).

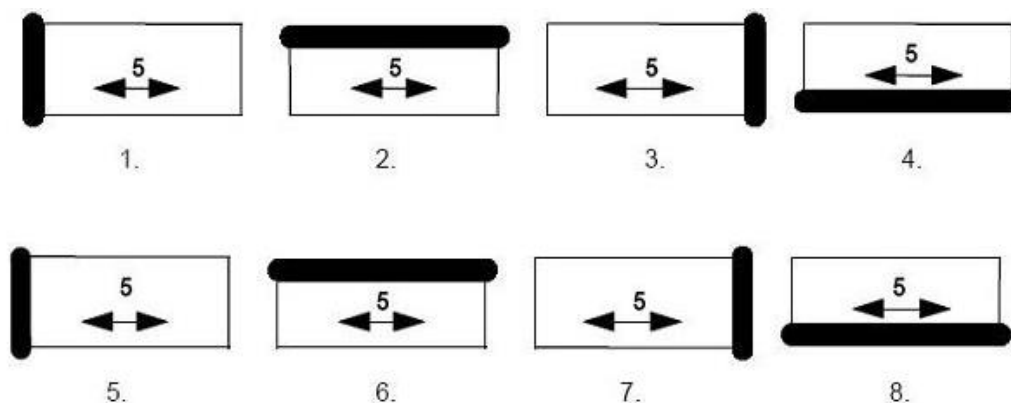


Figura 3.1 – Padrão de agitação para a separação das partículas pelo seu tamanho (adaptado de Heinrichs, 2013)

No final de submeter o separador de partículas a uma rotação de 90°, as frações obtidas nos diferentes crivos, foram transferidas para um recipiente (sem tara), pesadas, calculando posteriormente a percentagem encontrada para cada crivo.

3.3.2 Avaliação do processo digestivo

A análise do processo digestivo através de fezes frescas foi determinada de acordo com o procedimento descrito por Hutjens (2010), utilizando um analisador da digestão (Figura 3.2), composto por um conjunto de 3 telas (superior, média e inferior).



Figura 3.2 – Analisador de digestão Nasco para fezes em fresco

Usando o equipamento apropriado, foram recolhidas amostras isentas de contaminação (serrim, palha, terra, etc.), representando um mínimo de fezes de 10% do efetivo em lactação. Após a recolha da amostra, com o recipiente de recolha, inclinado a 30° sobre o analisador, a amostra foi lavada com uma pistola de água em posição “chuveiro”, até que a amostra colocada na tela superior se encontre “lavada”, isenta de partículas pequenas.

A observação e interpretação dos resultados obtidos nas diferentes telas é subjetiva, dependendo em parte da experiência do operador. Desta forma, procedeu-se à determinação da MS no laboratório da Escola Superior Agrária do IPVC, para cada uma das amostras, nos diferentes crivos (superior, médio e inferior).

3.4 Tratamento Estatístico

Os dados recolhidos foram agrupados por categoria e importados individualmente para uma folha de cálculo do programa informático Microsoft Office Excel, sendo executada a validação da base de dados para subsequente tratamento estatístico.

A análise estatística foi efetuada recorrendo aos programas Excel 2010 (Microsoft) e SPSS para Windows versão 22 (SPSS.Inc.). Fez-se o cálculo da estatística descritiva, tanto de tendência central (média), como de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação) nos diferentes parâmetros.

Para além da determinação de valores médios, analisou-se a influencia da exploração em diferentes parâmetros de produção e qualidade do leite, tendo-se utilizado um modelo de ANOVA e o teste de comparação de médias Tuckey. Recorrendo ao mesmo programa, procedeu-se à determinação dos coeficientes de correlação de Pearson entre todas as variáveis analisadas.

Procedeu-se ainda, a uma análise de componentes principais, tendo por base 16 variáveis, através do já referido programa estatístico, para determinação do número de variáveis independentes que concentram a maior parte da variabilidade dos parâmetros analisados.

4 – RESULTADOS

Em função dos dados recolhidos nas diferentes explorações, procedeu-se à análise dos vários parâmetros em estudo, tais como, dados produtivos, tamanho de partícula e composição química do TMR.

No quadro 4.1 é possível observar a estatística descritiva de alguns indicadores em estudo. A SAU cifrou-se em $12,3 \pm 7,9$ ha, com um número médio de 38,5 vacas por exploração. Relativamente às instalações, obteve-se um comprimento médio do bebedouro por vaca de 5,4 cm enquanto o comprimento médio para a manjedoura foi de 58 cm por vaca. No que se refere ao tempo de preparação do TMR, as explorações demoram em média 32,8 minutos para finalizar o processo de carregamento, dos quais, 7,4 minutos foram destinados à homogeneização final do alimento. A produção de leite aos 305 dias nas explorações em estudo foi de $9241,6 \pm 1783,8$ kg, para uma média de 179 DEL.

Quadro 4.1 – Indicadores gerais de estatística descritiva das explorações alvo de estudo

Parâmetros	Média±DP	Mín.	Máx.	CV (%)
SAU (ha)	$12,3 \pm 7,9$	5,0	20,0	64,1
Vacas em lactação	$38,5 \pm 14,5$	25,0	52,0	37,6
Comprim. bebedouro/vaca (cm)	$5,4 \pm 4,4$	2,9	12,0	70,1
Comprim. manjedoura/vaca (cm)	$58,0 \pm 5,9$	50,0	64,0	10,3
Tempo de preparação TMR (min)	$32,8 \pm 10,3$	23,0	47,0	31,6
Tempo final de mistura TMR (min)	$7,4 \pm 3,7$	4,0	12,3	50,6
Ingestão de alimento (kg/vaca/dia)	$45,2 \pm 2,7$	41,5	47,7	6,0
Produção de leite aos 305 dias (kg)	$9241,6 \pm 1783,8$	7946,0	12154,0	18,5
DEL (dias)	$179,0 \pm 23,8$	151,0	208,0	13,4

O tempo médio de preparação do reboque misturador nas quatro explorações variou entre 23 e 47 minutos e o tempo de mistura entre 4 e 12,3 minutos, revelando grandes oscilações entre explorações e, portanto, com possibilidade de melhoria de desempenho deste fator na globalidade das explorações (Figura 4.1).

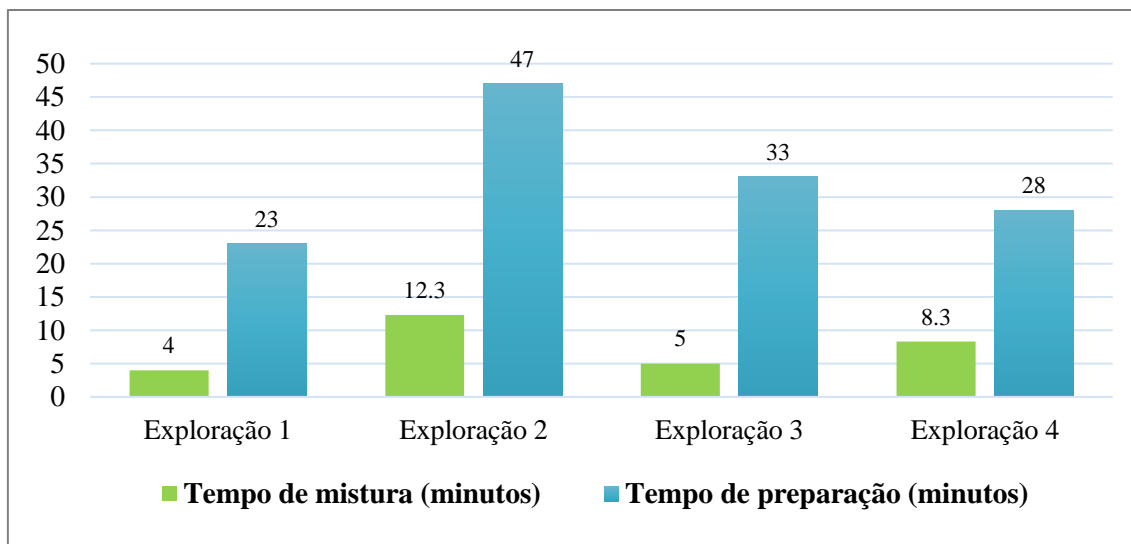


Figura 4.1 – Tempo de preparação do alimento único e respetivo tempo de mistura para homogeneização final do TMR

4.1 Análise de variância

4.1.1 Efeito da exploração

Observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$) entre explorações para a produção diária de leite (Quadro 4.2) e para a produção de leite aos 305 dias, não se tendo observado efeito ($P > 0,05$) para os DEL. A exploração 4 apresentou uma produção média diária superior (31,4kg/dia), assim como a maior produção aos 305 dias (10749,7 kg/vaca) relativamente às restantes 3 explorações. A exploração 2 evidenciou menor produção média diária (24,9 kg/dia), assim como menor produção de leite por vaca aos 305 dias (8692,4 kg/vaca).

Quadro 4.2 – Efeito da exploração na produção de leite (PL) e dias em leite (DEL)

Parâmetro	Expl.	N	Média±DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
PL (kg/dia)	1	50	28,0 ^{ab} ±7,1	15,3	42,3	25,2
	2	52	24,9 ^a ±6,5	7,1	39,5	26,1
	3	25	28,1 ^{ab} ±5,1	19,6	38,6	18
	4	27	31,4 ^b ±7,7	7,1	55,5	24,5
	Sig.		P<0,05			
	Total	154	27,6±7,0	7,1	55,5	25,5
PL aos 305 dias (kg)	1	50	9070,5 ^a ±1298,6	6671,0	12405,0	14,3
	2	52	8692,4 ^a ±1316,9	6268,0	12874,0	15,2
	3	25	9097,4 ^a ±1282,9	6508,0	11605,0	14,1
	4	27	10749,7 ^b ±1165,4	8295,0	13897,0	10,8
	Sig.		P<0,05			
	Total	154	9241,6±1457,4	6268,0	13897,0	15,8
DEL	1	50	170±118,0	6,0	469,0	69,2
	2	52	202±110,4	3,0	434,0	54,8
	3	25	181±124,5	6,0	442,0	69,0
	4	27	151±112,3	7,0	372,0	74,5
	Sig.		P>0,05			
	Total	154	179±115,9	3,0	469,0	64,7

Nas componentes analisadas, valores de letra distinta (a≠b) são significativamente diferentes

Sendo a qualidade do leite um parâmetro de interesse para as empresas de recolha e transformação de leite cru, estas promovem o seu incremento através de uma bonificação acima do valor padrão proposto. As explorações 2 e 3 revelaram teor butiroso ao longo do período em estudo, com valores superiores ao valor padrão (3,7 %) (Figura 4.2). As explorações 1 e 4, apesar das variações demonstraram principalmente valores abaixo do padrão.

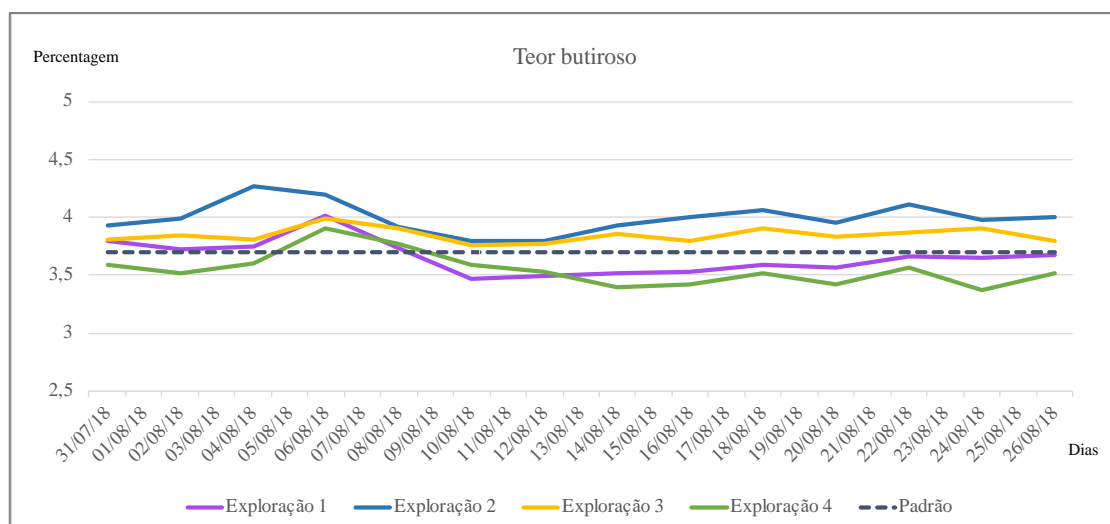


Figura 4.2 – Evolução do teor butiroso no decorrer do período em estudo

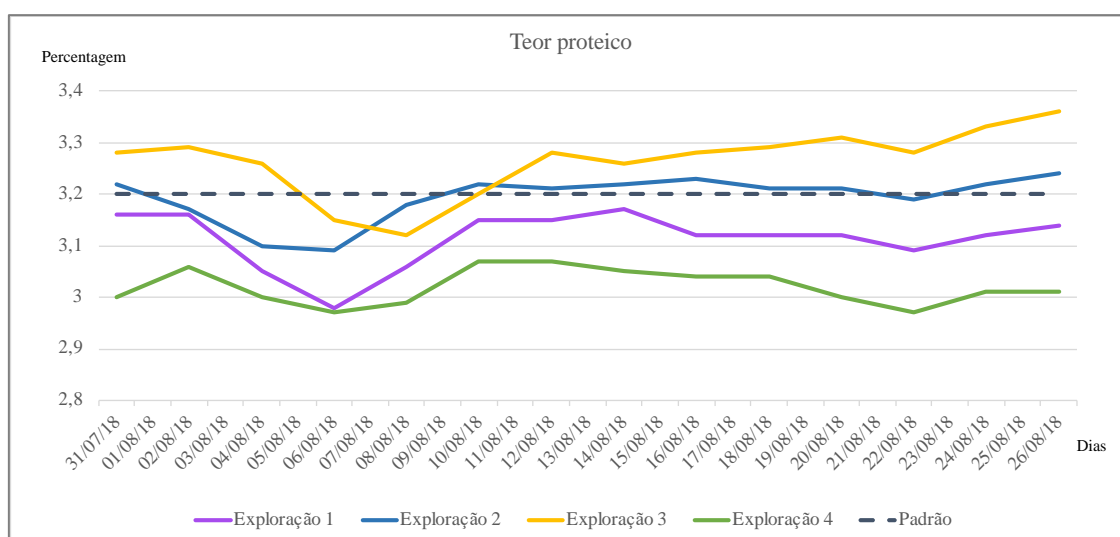


Figura 4.3 – Evolução do teor proteico no decorrer do período em estudo

Relativamente ao teor proteico (Figura 4.3), na primeira metade do período em análise, todas as explorações baixaram na sua concentração de proteína, recuperando logo em seguida. A exploração 4 caracteriza-se pelos valores inferiores enquanto a exploração 3 obteve os resultados mais favoráveis, ainda que em dado momento, abaixo do valor padrão proposto (3,2%).

Constatou-se ainda efeito significativo ($P < 0,05$) da exploração no teor butiroso, no teor proteico e na ureia (Quadro 4.3). As explorações 1, 2 e 3 apresentaram o valor mais elevado em gordura (4,0%) e significativamente diferentes da exploração 4 (3,6%).

Quadro 4.3 – Efeito da exploração na qualidade do leite para o teor butiroso, teor proteico e ureia

Parâmetro	Expl.	N	Média±DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
Teor butiroso (%)	1	50	4,0 ^a ±0,3	3,2	4,9	8,7
	2	52	4,0 ^a ±0,5	3,3	5,4	11,7
	3	25	4,0 ^a ±0,3	3,4	4,6	8,0
	4	27	3,6 ^b ±0,5	3,0	5,3	13,1
	Sig.		P<0,05			
	Total	154	4,0±0,4	3,0	5,4	10,9
Teor proteico (%)	1	50	3,3 ^{ab} ±0,2	3,0	3,6	4,6
	2	52	3,2 ^{ac} ±0,2	2,7	3,8	7,2
	3	25	3,4 ^b ±0,1	3,2	3,6	4,0
	4	27	3,1 ^c ±0,2	2,8	4,0	7,3
	Sig.		P<0,05			
	Total	154	3,2±0,2	2,7	4,0	6,5
Ureia (ppm)	1	50	241,0 ^a ±31,7	191,0	306,0	13,1
	2	52	249,0 ^a ±46,1	177,0	320,0	18,5
	3	25	282,0 ^b ±34,7	207,0	348,0	12,3
	4	27	245,0 ^a ±32,0	197,0	312,0	13,1
	Sig.		P<0,05			
	Total	154	251,0±39,9	177,0	348,0	15,9

Nas componentes analisadas, valores de letra distinta (a≠b≠c) são significativamente diferentes

No que diz respeito ao teor proteico, a exploração 3 apresentou valores mais elevados (3,4%), observando-se uma associação com o valor mais elevado em ureia (282,0 ppm), que foi significativamente diferente relativamente às restantes explorações. A exploração 4 por sua vez evidenciou o valor inferior em teor proteico (3,1%). O valor médio obtido para o teor butiroso, para o teor proteico e para a ureia foi de 3,9 %, 3,2 % e 251,0 ppm, respetivamente.

4.1.2 Regime alimentar formulado e executado

Quando falamos sobre a ordem de carregamento no reboque misturador para cada ingrediente que compõe a dieta, a variabilidade encontrada nas diferentes explorações foi a seguinte:

- Exploração 1: palha, concentrado e silagem de milho;
- Exploração 2: silagem de erva, silagem de milho e concentrado;
- Exploração 3: silagem de erva, concentrado e silagem de milho;
- Exploração 4: palha, concentrado e silagem de milho.

Relativamente ao regime alimentar formulado para cada exploração, a exploração 1 apresentou os carregamentos (kg/vaca) mais próximos do pretendido (Figura 4.4), enquanto a exploração 4 foi a exploração que mais se afastou da dieta proposta, essencialmente devido 29,3 kg/vaca de silagem de milho carregados, quando o esperado era de 35 kg/vaca.

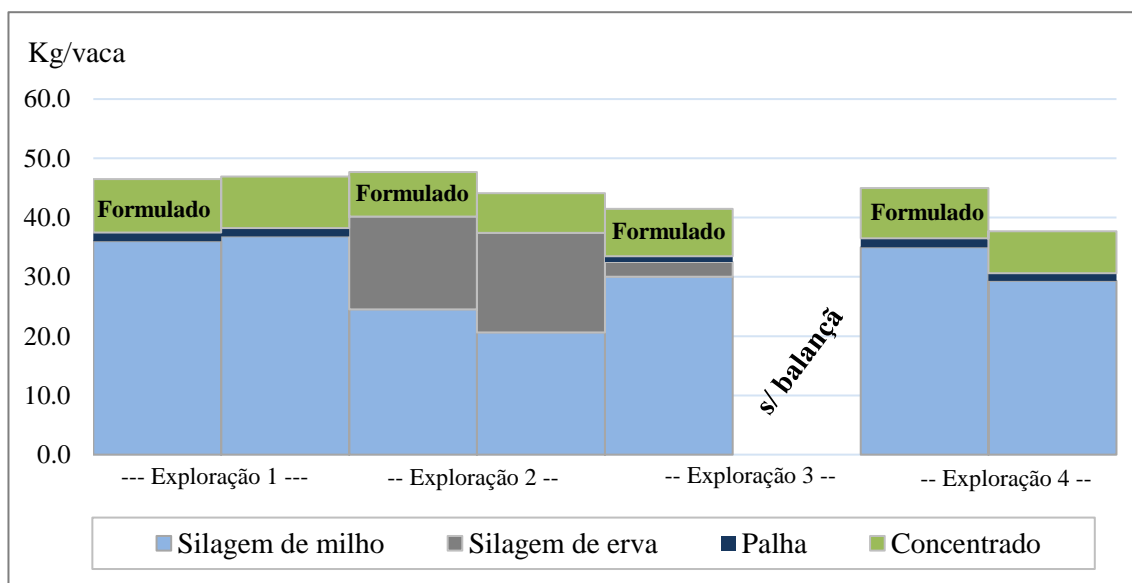


Figura 4.4 – Variações encontradas entre os quilos de alimento formulado face aos quilos executados

A exploração 3 não apresentou valores relativamente aos ingredientes carregados, uma vez que não possui balança no reboque misturador, podendo apenas analisar-se a composição química do TMR. As explorações 2 e 3 apresentaram silagem de erva no

regime alimentar, todavia a exploração 2 é a única que não incorpora palha (Quadro 4.4), associado ao facto da silagem de erva entrar em maiores quantidades (16,8kg).

Quadro 4.4 – Quantidade (kg/vaca/dia) de ingredientes que compõe o regime alimentar formulado face ao executado

Exploração		S. Milho	S. Erva	Palha	Concentrado
1	Formulado (kg/v)	36,0	-	1,5	9,0
	Executado (kg/v)	36,9	-	1,4	8,7
2	Formulado (kg/v)	24,5	15,7		7,5
	Executado (kg/v)	20,6	16,8		6,7
3	Formulado (kg/v)	30,0	2,5	1,0	8,0
	Executado (kg/v)		----- Sem balança -----		
4	Formulado (kg/v)	35,0		1,5	8,5
	Executado (kg/v)	29,3		1,3	7,1

4.1.3 Tamanho de partícula

Os valores obtidos para o tamanho de partícula face aos valores recomendados, foram bastante variáveis entre explorações, conforme podemos verificar no Quadro 4.5. Relativamente ao crivo superior de Penn State, apenas a exploração 1, com média de 5,98%, se encontra no intervalo das recomendações propostas. As restantes explorações encontram-se com valores médios acima das recomendações, sendo a exploração 2 aquela que apresenta o maior valor médio 37,80%. Relativamente ao crivo médio, onde as recomendações propostas são para 30 a 50%, mais uma vez, apenas a exploração 1 se enquadra no intervalo recomendado. As explorações 2, 3 e 4 encontram-se com valores abaixo do intervalo com valores próximos entre si (28,65, 23,75 e 27,80 respetivamente). Para o penúltimo crivo, o crivo inferior, o intervalo ideal situa-se entre 10 a 20%, todavia apenas a exploração 3 não cumpriu com a especificações, ficando assim ligeiramente acima dos valores esperados (22,70%). Por fim, na base do conjunto que suporta os diferentes crivos, era expectável observar valores entre 30 a 40% tendo sido observados para as explorações 1, 3 e 4, com 30,03%, 32,94% e 33,64%, respetivamente).

Quadro 4.5 – Distribuição observada das partículas do TMR (%)

		Explorações				Recomendado
		1	2	3	4	
Crivo superior						
Média	5,98	37,80	20,68	22,70	2-8%	
Máximo	15,00	53,40	53,00	39,80		
Mínimo	3,60	19,20	6,80	15,20		
DP	3,84	11,36	19,08	7,75		
CV (%)	64,32	30,05	92,29	34,14		
Crivo médio						
Média	47,45	28,65	23,75	27,80	30-50%	
Máximo	55,30	42,00	35,00	35,80		
Mínimo	43,40	19,00	10,70	19,80		
DP	3,82	7,53	9,01	4,52		
CV (%)	8,05	26,29	37,95	16,28		
Crivo inferior						
Média	16,50	11,93	22,70	15,85	10-20%	
Máximo	17,20	13,20	27,80	17,20		
Mínimo	15,60	10,80	13,40	14,20		
DP	0,65	0,74	5,27	1,01		
CV (%)	3,93	6,22	23,23	6,36		
Base						
Média	30,03	21,59	32,94	33,64	30-40%	
Máximo	33,50	25,50	39,50	38,70		
Mínimo	24,20	16,30	22,40	25,20		
DP	3,60	3,27	6,18	4,05		
CV (%)	12,00	15,17	18,75	12,05		

4.1.3 Composição química

Para a exploração 1 o valor médio de MS observada foi de 46,26% ficando acima do esperado (44,73) em 1,53pp, enquanto nos restantes parâmetros os desvios são pequenos, com oscilações inferiores a 1pp. Relativamente à exploração 2, o teor em MS observado foi de 43,21%, superior ao esperado (41,07%). A PB apresentou um desvio médio, abaixo do esperado em 0,88pp da MS. A exploração 3 revelou valores de MS, PB, GB e amido com valores observados muito idênticos face aos esperados (Quadro 4.6). A NDF observada foi de 40,28%, quando o esperado era de 37% na MS. Por fim, a exploração 4 destaca-se pelas diferenças encontradas no amido, onde se observou uma variação de 1,55pp abaixo do valor esperado.

Quadro 4.6 – Composição química da mistura TMR esperada face à observada no momento da distribuição

		Explorações			
		1	2	3	4
MS esperada (%)		44,73	41,07	47,56	46,16
MS observada (%)					
	Média	46,26	43,21	47,74	47,11
	Máximo	47,80	44,10	49,70	48
	Mínimo	44,30	42,20	45,70	45,90
	DP	0,99	0,68	1,49	0,63
Cinzas esperada (%MS)		7,08	7,18	7,32	7,40
Cinzas observada (%MS)					
	Média	6,51	7,05	6,8	6,84
	Máximo	7	7,50	7	7
	Mínimo	5,8	6,70	6,60	6,60
	DP	0,54	0,23	0,15	0,16
PB esperada (%MS)		15,64	15,36	15,51	15,52
PB observada (%MS)					
	Média	14,84	14,48	15,70	14,84
	Máximo	15,48	15,33	16,87	15,66
	Mínimo	14,16	13,87	15	13,77
	DP	0,49	0,48	0,62	0,55
GB esperada (%MS)		3,74	2,46	2,98	3,34
GB observada (%MS)					
	Média	3,28	2,90	2,91	3,30
	Máximo	3,40	3	3	3,40
	Mínimo	3,20	2,80	2,80	3,20
	DP	0,09	0,08	0,10	0,08
NDF esperada (%MS)		37,05	37,67	37	35,43
NDF observada (%MS)					
	Média	38,29	38,34	40,28	38,33
	Máximo	40,10	40,20	43,70	39,80
	Mínimo	36,90	36,25	38,20	36,40
	DP	1,09	1,46	1,49	1,25
Amido esperado (%MS)		25,55	23,11	24,99	26,39
Amido observado (%MS)					
	Média	25,36	24,50	23,49	24,84
	Máximo	26,50	26,55	25,80	25,90
	Mínimo	24,50	23,05	19,30	23,60
	DP	0,76	1,32	2,52	0,74

4.1.4 Processo digestivo

Como observado no Quadro 4.7, as 4 explorações apresentaram para a tela superior, valores médios de MS entre 10 e 11%, sendo o valor médio mais baixo para a exploração 4 com 10,32% e o mais elevado na exploração 3 com 11,61%. Na tela média, a MS encontrada mais baixa, observou-se na exploração 3 (9,63%) enquanto a mais elevada apresentou valores de 11,45% para a exploração 4. Na tela inferior todas as explorações apresentaram valores de MS de aproximadamente 10%.

Quadro 4.7 – Percentagem de matéria seca proveniente de amostras fecais para cada uma das telas (superior, média e inferior)

		Explorações			
		1	2	3	4
Tela superior					
	Média	10,68	10,62	11,61	10,32
	Máximo	11,71	12,51	13,34	11,24
	Mínimo	9,24	9,00	9,86	9,12
	DP	0,95	1,16	1,09	0,68
	CV	8,90	10,96	9,38	6,60
Tela média					
	Média	9,92	10,74	9,63	11,45
	Máximo	11,07	17,01	10,44	21,36
	Mínimo	7,63	8,53	8,35	8,89
	DP	1,21	2,67	0,62	4,22
	CV	12,22	24,91	6,39	36,86
Tela inferior					
	Média	10,14	10,30	10,22	10,07
	Máximo	12,37	11,93	11,63	10,62
	Mínimo	7,96	8,63	8,39	8,94
	DP	1,47	1,04	1,12	0,53
	CV	14,46	10,10	11,00	5,23

4.2 Componentes principais

Para comparar as magnitudes dos coeficientes de correlação observados com as magnitudes dos coeficientes de correlação parciais, utilizou-se a medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que resultou num valor de 0,74.

No Quadro 4.8 apresentam-se os resultados das correlações para o conjunto de parâmetros relativos à análise química do TMR esperada (AQE) e observada (AQ) e a % de MS encontrada em fezes frescas (AD).

Quadro 4.8 – Correlações encontradas para análise química esperada (AQE) e observada (AQ) na mistura TMR, produção de leite e % de MS encontrada em análise das fezes (AD)

	AQEMS	AQECZ	AQEPB	AQEGB	AQENDF	AQEAM	AQCZ	AQPB	AQGB	AQNDF	AQAM	AQMS	PRODL	ADCS	ADCM	ADCI
AQEMS		0,562**	0,588**	0,511**	-0,572**	0,762**	-0,195	0,565**	0,244	0,325	-0,158	0,872**	0,314	0,225	-0,080	-0,49
AQECZ			-0,207	-0,154	-0,722**	0,414*	0,246	0,266	0,010	0,186	-0,213	0,451**	0,060	0,034	0,130	-0,031
AQEPB				0,972**	-0,340	0,771**	-0,534**	0,207	0,664**	-0,003	0,185	0,591**	0,585**	0,019	-0,102	-0,058
AQEGB					-0,480**	0,835**	-0,524**	0,089	0,796**	-0,104	0,252	0,537**	0,668**	-0,086	-0,039	-0,068
AQENDF						-0,856**	0,095	-0,063	-0,645**	0,076	-0,086	-0,540**	-0,536**	0,183	-0,170	0,075
AQEAM							-0,343	0,207	0,755**	-0,010	0,125	0,729**	0,657**	-0,078	0,046	-0,081
AQCZ								0,063	-0,447*	0,230	-0,379*	-0,211	-0,471**	-0,098	-0,040	0,123
AQPB									-0,083	0,033	-0,075	0,582**	-0,026	0,381*	-0,022	0,186
AQGB										-0,477**	0,515**	0,278	0,608**	-0,306	0,064	-0,094
AQNDF											-0,870**	0,322	-0,163	-0,015	-0,072	-0,247
AQAM												-0,242	0,191	0,084	0,039	0,206
AQMS													0,441*	0,118	-0,013	-0,195
PRODL														0,015	0,019	-0,47
ADCS															-0,046	0,487**
ADCM																0,133
ADCI																

AQEMS: análise química esperada à MS; AQECZ: análise química esperada às cinzas; AQEPB: análise química esperada à PB; AQEGB: análise química esperada à GB; AQENDF: análise química esperada à NDF; AQEAM: análise química esperada ao amido; AQCZ: análise química às cinzas; AQPB: análise química à PB; AQGB: análise química à GB; AQNDF: análise química à NDF; AQAM: análise química ao amido; AQMS: análise química à MS; PRODL: produção diária de leite; ADCS: analisador da digestibilidade para o crivo superior; ADCM: analisador da digestibilidade para crivo médio e ADCI: analisador da digestibilidade para crivo inferior.

Nível de significância: $P < 0,05^*$ e $P < 0,01^{**}$

Relativamente ao conjunto das correlações estudadas, 33% foram significativas, tendo-se observado a correlação mais elevada entre as variáveis da análise química esperada à PB e a análise química esperada à GB (AQEGB e AQEPB), que foi de 0,972 no TMR. Encontraram-se ainda correlações mais baixas, mas igualmente significativas, como é o caso entre a análise química esperada e obtida para a MS (AQEMS/AQMS) com 0,872.

Os parâmetros referentes à análise química esperada à NDF e análise química esperada ao amido (AQENDF/AQEAMIDO) no TMR demonstram a maior correlação negativa com -0,856.

No Quadro 4.9 apresentam-se os resultados da análise de componentes principais dos diferentes parâmetros. Os dois componentes principais explicam no seu conjunto 67,5% da variabilidade total.

Quadro 4.9 – Principais componentes dos diferentes parâmetros em análise

Parâmetro	Componente 1	Componente 2	Comunalidades
PRODL	0,766	0,072	0,586
AQEMS	0,541	0,796	0,868
AQECINZ	0,067	0,712	0,507
AQEPB	0,858	0,158	0,745
AQEGB	0,923	0,093	0,853
AQENDF	-0,655	-0,469	0,607
AQEAMIDO	0,891	0,463	0,953
AQMS	0,558	0,777	0,856
AQCINZ	-0,611	0,239	0,455
AQPB	0,122	0,525	0,282
AQGB	0,886	-0,149	0,832
AQNDF	-0,315	0,669	0,582
AQAMIDO	0,439	-0,639	0,647
Valores próprios	5,735	3,038	
% Variância explicada	44,117	23,368	
% Variância acumulada	44,117	67,485	

O primeiro componente principal representa 44,1% da variabilidade. As variáveis que mais contribuem para este fator são a análise química esperada da GB (AQEGB) com 0,92, seguindo-se a análise química esperada ao amido (AQEAMIDO) (0,89), análise química observada da GB (AQGB) (0,89) e por fim a análise química esperada da PB (AQEPB) com 0,86. Todavia, a análise química esperada e obtida para a NDF (AQENDF e AQNDF)) (-0,66 e -0,32, respetivamente) apresentaram valor negativo, em conjunto com a análise química obtida para as cinzas (AQCINZ) (-0,61).

O segundo componente representa 23,4% da variância total, sendo a maior percentagem da variância explicada pela análise química esperada da MS (0,8). No sentido inverso, encontra-se a análise química observada da GB (AQGB) (-0,15), a análise química esperada para a NDF (AQENDF) (-0,47) e a análise química obtida para o amido com -0,64 (AQAMIDO).

É ainda possível constatar que a análise química esperada do amido (AQEAMIDO) é o parâmetro que apresenta uma maior força de relação (comunalidade elevada) com os componentes analisados, apresentando um valor de 0,95.

Na projeção das variáveis no plano definido pelos dois primeiros componentes principais (Figura 4.5), salienta-se a existência de um valor negativo para a análise química esperada à NDF (AQENDF) no primeiro componente principal. O conjunto dos parâmetros (AQEPB e AQGB) relacionados com a produção de leite, conseguem distinguir-se sobre o primeiro componente principal afastados da origem. Por outro lado, as variáveis análise química esperada das cinzas (AQECINZ) e análise química à PB (AQPB), aproxima-se do segundo componente principal, explicando uma causa independente de variação.

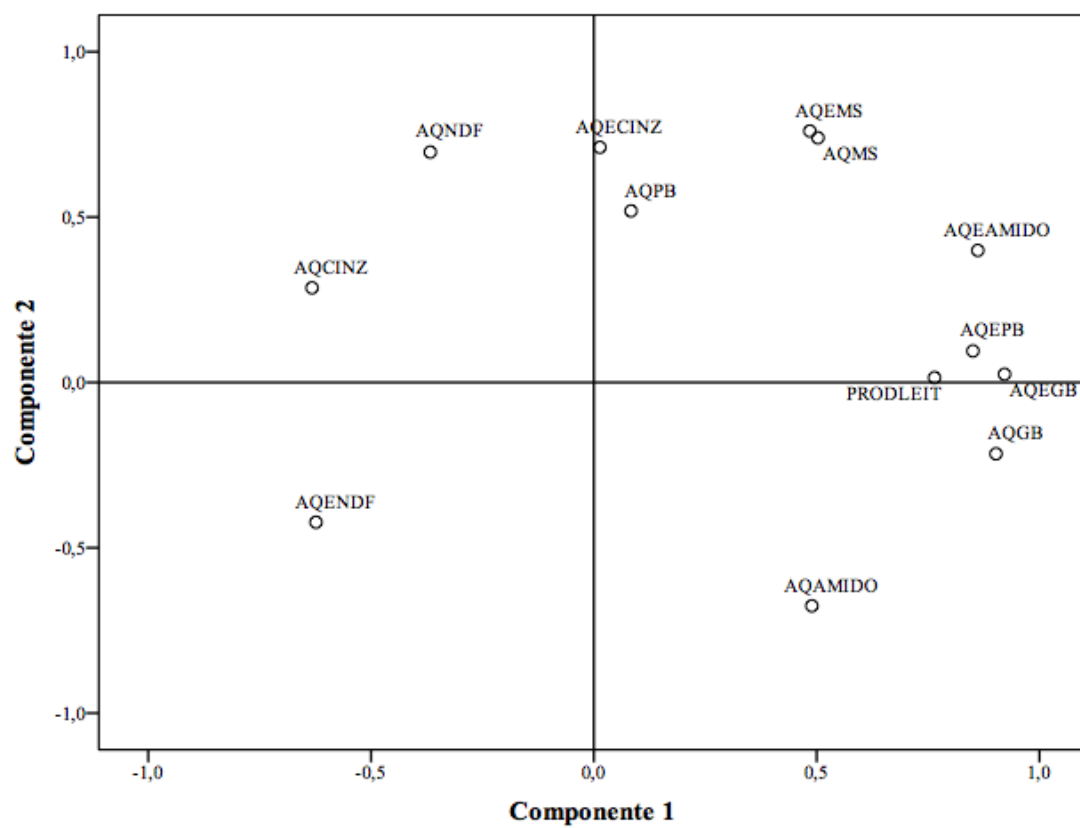


Figura 4.5 – Projeção das variáveis originais sobre os eixos definidos pelos dois componentes principais

5 – DISCUSSÃO

Segundo McFarland (2003), os pontos de abeberamento, devem ter um comprimento de 11,5 cm/vaca, não se enquadrando os valores médios obtidos para o conjunto das 4 explorações de 5,4 cm/vaca nesta recomendação. Segundo Wolter e Ponter, (2014), a redução no abeberamento de 40% reduz a ingestão de alimento em 24% e a produção leiteira em 16%.

As manjedouras das vacarias em estudo, apresentaram uma média de 58 cm/vaca. Cook (2007) estudou os efeitos comportamentais para o efeito do espaço de manjedoura, 60 e 102 cm por vaca, verificando que para 102 cm, havia uma redução no número de interações agressivas por vaca, aumentando a percentagem de vacas à manjedoura, durante os 90 minutos seguidos ao fornecimento do TMR. As vacas envolvidas em maior número de interações agressivas na manjedoura podem apresentar mais riscos de desenvolvimento de problemas podais.

Segundo Oelberg (2011), vários fatores podem interferir na homogeneidade final do TMR, sendo o tempo de mistura aquele com maior efeito significativo, onde dietas satisfatoriamente homogêneas são obtidas após 3 a 5 minutos de mistura, após a colocação do último ingrediente carregado na máquina misturadora. As explorações em estudo, no seu conjunto apresentaram valores de mistura de 7,4 minutos, muito acima dos valores propostos, sendo que o tempo médio necessário para a preparação de todo o TMR foi de 32,8 minutos (já com o tempo de mistura incluído). Estas incoerências, reduzem em demasia o tamanho das partículas, conduzindo a um aumento na incidência de distúrbios metabólicos.

Observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$) entre explorações na produção diária de leite e produção aos 305 dias, com exceção para os dias em leite. A produção média aos 305 dias das 4 explorações foi de 9241,6 kg/vaca, valor ligeiramente inferior ao mencionado pela ANABLE (2017) que é de 9512 kg/vaca. Os dias em leite obtiveram uma média total de 179 dias para as 4 explorações em estudo, sendo que a exploração 1 apresentou o animal com maior DEL (469 dias) quando a exploração apresentou uma média de 170 dias. Os valores encontrados para os DEL vêm de encontro ao referido por Ribas (1997), onde valores de DEL situados entre 150 a 170 dias são considerados os mais adequados para este parâmetro. O autor refere ainda valores críticos para valores

superiores a 180 dias, com é o caso da exploração 2, onde o número em dias de leite foi de 202 dias. Esta diferença entre explorações poderá denotar a existência de diferentes estratégias reprodutivas, ou por outro lado relacionar-se com questões de ordem patológica.

Também se verificaram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre explorações para a qualidade do leite, mais concretamente para o teor butiroso, teor proteico e ureia. A exploração 2 apresentou o valor de teor butiroso mais alto, sendo de igual modo a exploração com menor produção diária aos 305 dias. A exploração 3 apresentou maior valor de teor proteico, sendo de igual modo, a exploração com maior valor em ureia (282 ppm).

Sobre a ordem de carregamento dos ingredientes no reboque misturador, as explorações 1 e 4 apresentaram o mesmo maneiio, carregando em primeiro lugar a palha, seguindo-se o concentrado e a silagem de milho. A exploração 2 e 3 apesar de carregarem a silagem de erva em primeiro lugar, diferem no último ingrediente, uma vez que para a exploração 2 o último ingrediente é o concentrado e para a exploração 3 a silagem de milho. Segundo Almeida et al., (2013) e Oelber (2011), relativamente à ordem de entrada dos ingredientes, estes recomendam que em primeiro lugar sejam carregados os fenos/palhas, seguindo-se o alimento concentrado ou a mistura de matérias primas e minerais, e só por último a silagem de erva/milho. Neste sentido, apenas as explorações 1 e 4 se enquadram nesta metodologia. Os autores acrescentam ainda que inserindo em primeiro lugar os fenos/palhas na mistura TMR, que geralmente apresentam maior tamanho de partícula, estes teriam o seu tamanho reduzido pelo reboque misturador enquanto são misturados e homogeneizados, favorecendo eficientemente a preparação da mistura, melhorando assim a sua consistência e por sua vez, menos seleção do alimento pelos animais à manjedoura. Desta forma, as explorações 2 e 3 encontram-se com uma maior predisposição para uma incorreta homogeneidade e por sua vez, maior seleção no TMR por parte dos animais.

Relativamente ao regime alimentar proposto para cada uma das 4 explorações, face á quantidade executada pelo produtor, o ingrediente silagem de milho revelou maior oscilação, observando-se maiores discrepâncias para a exploração 4, onde o proposto foram 35kg/vaca e a quantidade média carregada ao longo do período em estudo foi de 29,3kg/vaca (diferenças em 5,7kg/vaca). seguindo-se a exploração 2 com uma variação inferior em 3,9kg/vaca de silagem de milho. A palha foi o ingrediente com menor

oscilação ao longo dos dias em estudo, variando num máximo de 200g/vaca abaixo do proposto, para a exploração 4. Rodriguez *et al.*, (2015), avaliaram a precisão de carregamento dos ingredientes nos reboques misturadores para 24 explorações, onde foi observado um erro médio de carregamento de 10%, acima ou abaixo do recomendado, sendo que os ingredientes pesados com maior rigor foram os concentrados, não se verificando o mesmo resultado para as 4 explorações estudadas.

Para o tamanho de partícula verificou-se que no crivo superior, a percentagem média de partículas encontrada para as 4 explorações foi de 21,79%, quando o intervalo proposto por Heinrichs (2013) se situa entre 2 e 8%. A exploração 1 foi a única em que se observou uma percentagem média, dentro do intervalo recomendado com 5,98% das partículas no crivo superior, assim como para o crivo médio (47,45%), onde as recomendações se situam nos 30 a 50%. As partículas retidas neste crivo farão parte do tapete ruminal existente no rúmen. Para o crivo inferior, o autor refere como sendo o intervalo ideal situado entre 10 a 20%, contudo, apenas 3 explorações asseguraram o objetivo (exploração 1, 2 e 4). Este facto poderá estar associado a um tamanho de partícula longo do TMR, condicionando a passagem das partículas de menor dimensão, dos crivos superiores para a base. Para a base, as recomendações propostas para o TMR são de 30 a 40%, tendo-se observado valores neste intervalo para as explorações 1, 3 e 4, enquanto a exploração 2 revelou valores de 21,59%. Apenas a exploração 1 manifestou concordância com os valores de referencia citados por Heinrichs (2013), para todos os crivos.

Os resultados obtidos para a composição química do TMR, permitem aferir e monitorizar a verdadeira composição nutricional do alimento fornecido. Desta forma, podemos verificar que ao longo do período em estudo, os valores médios obtidos para cada uma das 4 explorações foi bastante variável, podendo refletir-se de igual forma na assimilação dos nutrientes pelo animal. Relativamente aos parâmetros PB e GB, os valores obtidos encontram-se todos próximos do esperado, com diferenças inferiores a 1pp da MS. Para a NDF, as explorações 3 e 4 apresentam valores acima do esperado, superiores a 3%. Para o amido, a exploração 1 revelou valores mais próximos entre o esperado e o observado (25,55 %MS/25,36 %MS).

Relativamente ao analisador da digestão em fezes frescas, na tela superior observaram-se valores médios entre 10 a 11% da MS. Para a tela média, os valores obtidos diferenciaram-se bastante, tendo a exploração 3 obtido o valor mais baixo com 9,63% na

MS e a exploração 4, o valor médio superior com 11,45% na MS. Por último, na tela inferior os valores obtidos cifraram-se para todas as explorações em 10% na MS. Os valores por nós observados vão de encontro ao mencionado por William (2012), cujos valores oscilaram entre 8 e 11%. Os valores obtidos para a tela superior nas 4 explorações (10 a 11%) poderão ser indicadores de uma adequada eficiência ruminal e equilíbrio de nutrientes.

As correlações obtidas revelaram-se significativas para 33% dos parâmetros analisados, destacando-se a correlação mais elevada entre a análise química esperada à PB e a análise química esperada à GB (0,972), (AQEPB e AQEGB), o que demonstra a grande afinidade entre estes dois componentes.

Os valores obtidos na análise multivariada (Quadro 4.9), indicam-nos que 67,5% da variância total é explicada pelos dois componentes principais. O primeiro componente expressa 44,1% da variância, sendo a análise química esperada e observada à NDF e análise química às cinzas os seus únicos coeficientes negativos, em relação às variáveis mais correlacionáveis com este componente.

O segundo componente representa 23,4% da variância total, expressa na análise química esperada (AQEMS) e observada à MS (AQMS) em conjunto com a análise esperada às cinzas (AQCINZ), pois verifica-se que a maior percentagem desta variância se encontra associada a características relacionadas com a composição química da MS.

6 – CONCLUSÃO

O comprimento médio do bebedouro por vaca foi de 5,4 cm para as 4 explorações, tendo revelado um coeficiente de variação (70,1) muito elevado e o comprimento da manjedoura observado foi de 58 cm por vaca.

O tempo médio despendido pelas explorações na preparação do TMR no reboque misturador, aquando da entrada do primeiro ingrediente, foi de 32,8 minutos, dos quais 7,4 minutos se destinaram à homogeneização final dos ingredientes incorporados.

Observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) da exploração para a produção diária de leite, produção aos 305 dias, teor butíroso, teor proteico e ureia, com exceção para os DEL. A exploração com maior produção diária (31,39 kg/dia), é coincidente com a maior produção aos 305 dias (10749,7 kg/vaca), assim como os DEL inferior (151 dias). Relativamente à qualidade do leite, a exploração com teor proteico mais elevado (3,36%) foi a mesma exploração com valor de ureia mais elevada (282 ppm).

A ordem de carregamento para os ingredientes que compõem as diferentes dietas foi bastante variável entre explorações, sendo a 1 e 4 as únicas que seguiram a ordem tida como a mais adequada.

Relativamente às quantidades carregadas para os diferentes componentes, face ao arração proposto pelo técnico nutricionista, apenas uma exploração conseguiu apresentar variações mínimas ao longo de período em estudo, inferiores a 1 kg para cada componente. As silagens de milho e de erva foram os ingredientes com maiores oscilações para as 4 explorações, seguindo-se o concentrado e a palha.

Perante a monitorização do tamanho de partícula no TMR, através do SPPS, verificou-se que apenas a exploração 1 se enquadrou nos intervalos considerados como ideais.

Para a composição química nos diferentes nutrientes, observaram-se pequenas variações entre os valores propostos como esperados e os efetivamente obtidos no TMR final.

Na avaliação do processo digestivo, observaram-se valores médios de MS muito próximos entre explorações, oscilando entre 9 a 11%.

Observou-se uma correlação positiva muito elevada (0,972) entre a análise química esperada à GB (AQEGB) e a análise química esperada à PB (AQEPB). Os dois

componentes principais em conjunto expressam 67,5% da variabilidade dos parâmetros da composição química no TMR.

Face aos resultados obtidos, recomendaríamos um maior cuidado na sequência de incorporação dos ingredientes para o TMR, com reflexo positivo no tempo de preparação do alimento final. Aconselhar-se-ia ainda, melhorar a precisão na quantidade dos ingredientes incorporados por forma a aproximar o mais possível, os valores esperados face aos executados (inferiores a 2%). Para estudos a realizar no futuro, seria importante determinar as sobras existentes na manjedoura, na altura da administração do novo alimento assim como, a determinação das perdas fecais para o amido.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, M. S., 1997. Relationship Between Fermentation Acid Production in the Rumen and the Requirement for Physically Effective Fiber. *Journal of Dairy Science*, 80:1447-1462.
- Almeida, R., Lima, I. M., Ramires, C. H., 2013. Nutrição de precisão em vacas leiteiras. XXIII Congresso Brasileiro de Zootecnia. Foz do Iguaçu, 4884-4894.
- Barmore, J. A., 2002. Fine-Tuning the Ration Mixing and Feeding of High Producing Herds. Tri-State Dairy Nutrition Conference. 103-126.
- Buckmaster, D. R. e Muller, L. D., 1994. Uncertainty in nutritive measurements of mixed livestock rations. *Journal of Dairy Science*, 77:3716-3724.
- Calcedo, V., 2014. Evolución de la estructura de la producción de leche en la UE-27. *Mundo Ganadero*, 14:16-18.
- Cook, N. B., 2007. Makin Me Dizzy-Pen Moves and Facility Designs to Maximize Transition Cow Health and Productivity. Proceedings of the Western Dairy Management Conference, Reno, N.V., 7-9.
- Cotanch, K. e Darrah, J., 2012. Fecal fractions of the Nasco Digestion Analyzer/Calgill Manure Screener. The Willian H. Miner Agricultural Research Institute. Farm Report, June.
- Cozzi G., 2004. Caratteristiche della fibra nell'unifeed della vacca da latte. *L'informatore Agrario*, 32:33-36.
- Heinrichs, A. J., Buckmaster, D. R., Lammers, B. P., 1999. Process-ing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 77:180–186.
- Heinrichs, A. J., Kononoff, P. J., 2002. Evaluating particle size of forages and TMR's using the Penn State Particle Size separator. Pennsylvania State University.

Heinrichs, A. J., Kononoff, P. J., 2004. “Evaluating Particle Size of Forages and TMR’s Using the New Penn State Forage Particle Separator”, Department of Dairy and Animal Sciences, Pennsylvania State University.

Hutjens, M. F., 2010. Manureology 101. Proceedings Four-State Dairy Nutrition & Management Conference. Dubuque, Iowa. 59-61.

Hutjens, M., 2008. Feeding Guide, 3rd Ed, Hoard’s Dairyman.

IACA – Associação Portuguesa dos Industriais de Alimentos Compostos para Animais, sem ano – Consulta online em 16/11/2018 - <http://tektix2.com/index.php/o-sector/producao>

INE – Instituto Nacional de Estatística, 2018 - https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=178&tipoSeleccao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true – Consulta online em 16/11/2018

Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J., 2007. Forage and TMR particle size and effects on rumen fermentation of dairy cattle. USDA NRCS CIG program.

McFarland, D. F., 2003. Nutritional interactions related to dairy shelter design & management. Advances in Dairy Technology, 15:69-83.

Mertens, D. R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. Journal of Dairy Science, 80:1463–1481.

Mertens, D. R., 2010. NDF and DMI - Has anything changed? Proc. Cornell Nutr. Conf., Syracuse, NY, 160-174.

Mikus, J. H., 2012. Diet Consistency: Using TMR Audits™ to Deliver More from Your Feed, Equipment, and People to the Bottom Line. High Plains Dairy Conference. Amarillo, Texas, 27-36.

NRC, 2001. National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th Rev. Ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 381.

Oba, M., Allen, M. S., 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaing, 82:589-596.

Oba, M., Allen, M. S., 2000. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 2. Chewing activities. *Journal of Dairy Science*, Champaing, 83:1342–1349.

Oelberg, T., 2011. TMR AuditsTM Improve TMR Consistency. Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop. Grantville, PA, 81-86.

Olschlager, V., 2007. Molekularbiologische und enzymatische ntersuchungen zum Einfluss von Partikellange und auf Parameter Konzentratanteil der fibrolytischen Pansenverdauung. PhD Diss. Universitat Hohenheim, Germany.

Pierrei, N. R. e Weiss W. P., 2015. Partitioning variation in nutrient composition data of common feeds and mixed diets on commercial dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 98: 5004-5015.

Ribas, J B., 1997. Programa de alimentação e desenho de arraçoamentos em vacas leiteiras. *Revista Portuguesa de Buiatria*, v.1 e 2: 21-34.

Rodrigues, S., Trillo, T., Lago, A., Silva-del-Rio, N., 2015. Description of close-up cow recipes in California dairies. Joint Annual Meeting (ADSA - ASAS). Proceedings, Florida, 98:112.

Rossow, H. A., Aly, S. S., 2013. Variation in nutrients formulated and nutrients supplied on 5 California dairies. *Journal of Dairy Science*, 96:7371-7381.

Sottomayor, M., 2012. Reforma da PAC pós-2013 no setor do leite em Portugal. Porto: Centro de Estudos de Gestão e Economia Aplicada (CEGEA).

Souza, 2004. Alimentação da novilha leiteira. *Alimentação de Gado de Leite*, 68- 96

Sova, A. D., LeBlanc, S. J., McBride, B. W. e Devries T. J., 2014. Accuracy and precision of total mixed rations fed on commercial dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 97:562-571.

Stone, B., 2008. Reducing the variation between formulated and consumed rations. *WCDS Advances in Dairy Technology*, 20:145-162.

Tafaj, M., Junck B., Maulbetsch, A., Steringass, H., Piepho, H.P., Drochner, W., 2004. Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrates levels. *Archives of Animal Nutrition*, 58:325–342.

Tafaj, M., Zebeli Q., Baes, Ch., Steingass, H., Drochner, W., 2007. A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in dairy cows in early lactation. *Animal. Feed Science.and Technologic, Califórnia*, 138:137-161.

Weiss, W. P., Shoemaker, D., Mcbeth, L., Yoder, P., ST-Pierre, N. Within farm variation in nutrient composition of feeds. *Tri-State Dairy Nutrition*.

William, H., 2012. Fecal fractions of Nasco Digestion analyzer/Cargill manure screener. *Miner Agricultural Research Institut Farm Report*, 7-8.

Wolter, R. e Ponter, A., 2014. *Alimentation de la vache laitière*. Éditions France Agricole, 158-159.

Zebeli, Q., Aschenbach, J. R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B. N., Drochner, W., 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95:1041-1056.

Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Ametaj, B. N., DrochnerR, W., 2008. Modeling dietary fiber adequacy in dairy cows based on responses of ruminal pH and milk fat production to diet composition. *Journal of Dairy Science*, 91:2046-2066.

Zebeli, Q., Tafaj, M., Steingass, H., Metzler, B., Drochner, W., 2006. Effects of Physically Effective Fiber on Digestive Processes and Milk Fat Content in Early Lactating Dairy Cows Fed Total Mixed Rations. *Journal of Dairy Science*, 89:651-668.